

선형 가속기를 이용한 정위적 방사선 수술시 병소내 선량분포의 특성조사

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

최경식 · 오승종 · 서태석 · 이형구 · 최보영 · 전흥재

방사선 치료 계획의 목적은 정상 조직 부근에서는 최소한의 방사선 조사가 되는 동안 병소에는 동일한 선량이 조사되는 것이다. 선형가속기를 이용한 정위적 방사선 수술시 단일한 구형의 선량분포는 병소에 대하여 균등한 선량분포를 이루고, 병소 내에는 70% 이상의 고선량이 등선량 곡선내에 포함되면서 주위 정상조직에서는 급격히 낮은 선량을 가지게 한다. 또한 이와 같은 방법은 감마나이프를 이용한 정위적 방사선 수술의 경우와 비슷한 치료 계획을 나타낸다. 이처럼 정위적 방사선 수술시 이용되는 구형의 선량분포를 가지는 isocenter는 실제 방사선 수술 계획시 많은 시간과 경험을 바탕으로 수술 계획자에 의해 병소 내에 배치되어 진다. 본 연구는 효율적인 방사선 수술이 수행되도록 수술 계획시 구형 선량분포에 관여하는 빔관련 변수들을 고려하여 병소내 선량분포의 특성을 조사하였다. 이를 위해 불규칙한 형태의 병소를 직육면체형과 원통형으로 가정하여 비교하였고, 동일한 체적의 병소 모델에 대하여 빔관련 변수를 변화시켜 구형 선량분포를 이루는 isocenter들의 위치 및 콜리메이터의 크기를 달리하면서 병소 모델에 대한 선량 분포를 얻었다. 이때, 얻어진 선량분포 Dose Profile과 Dose Volume Histogram (DVH)으로 비교한 결과, 불규칙한 모양의 병소에 대하여 콜리메이터의 크기와 Isocenter의 개수, Isocenter의 간격 등의 빔관련 변수를 최적화함으로써 더 나은 고선량의 등선량 곡선(Isodose Curve)내에 병소를 포함시킬 수 있었다. 이러한 병소내 구형 선량 분포를 가지는 isocenter의 배치에 따른 특성들은 정위적 방사선 수술 계획시 더 효율적이면서, 빠른 수술 계획을 수립하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

중심단어 : SRS, 수술 계획, 빔관련 변수, 선량분포

서 론

방사선 치료 계획의 목표는 정상조직 부근에서는 최소한의 방사선 조사가 되는 동안 병소에는 동일한 선량의 고선량이 수송되는 것이다. 하지만, 정위적 방사선 수술은 한번에 고선량의 방사선을 병소에 조사하여 치료하는 것으로 일반적인 방사선 치료와는 달리 단 한번의 치료로 끝나기 때문에 병소에 충분한 양의 방사선이 조사되도록 수술계획을 세우는 것이 중요하다.

현재 정위적 방사선 수술시 사용되는 감마나이프는 반구형 헬멧의 외관 주위에 균일하게 201개의 코발트 60 선원으로

로부터 빔이 입사되고, 선형가속기는 감마나이프와 같은 일을 성취하기 위하여 병소에 초점화 된 비공면호(noncoplanar arc)들을 다양하게 이용한다. 그리고, 방사선 수술시 불규칙한 모양의 3차원적 병소에 대하여 고선량을 조사하기 위하여 감마나이프 방사선 수술에서는 "shot" 단위에 바탕을 둔 선량 수송에서 다중 shot들과 isocenter들을 이용하고, 선형가속기 방사선 수술에서는 원형의 콜리메이터들과 구형적으로 대칭이 되도록 다중호(multi arc)를 균등하게 위치시키는 빔배치를 이용한다. 이들은 모두 병소의 체적내 선량분포가 구형을 이루게 된다.^{1, 4)}

이러한 성질을 이용하여 정위적 방사선 수술시 수술계획은 병소의 모양에 대하여 isocenter의 개수, isocenter의 위치, 콜리메이터의 크기, arc의 시작각과 끝각 등의 빔관련 변수를 고려한 후 선량계산을 통하여 병소에 대한 전체적인 등선량 곡선의 일치를 확인하는 반복적인 과정을 거쳐 적절한 수술계획을 수립한다.⁵⁾

Q. Jackie⁶⁾와 Thomas⁷⁾ 등은 구형의 선량분포를 이루는 isocenter를 병소내에 배치시킬 때 단지 불규칙한 3차원적

이 논문은 2003년 9월 30일 접수하여, 2003년 10월 27일 채택됨.
본 연구는 과학기술부 원자력중장기사업(M2033401001-03 A-0927-00210) 연구비 지원에 의해 수행되었음.
책임저자: 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505
가톨릭대학교 의과대학 의공학교실
Tel: 02)590-2414, Fax: 02)532-1779
E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

병소의 모양에 중점을 두고 전체적인 구형의 선량분포를 이루는 isocenter들을 병소의 모양에 근사화 시켰다. 본 연구는 앞에서 설명한 바와 같은 방사선 수술 계획시 반복적인 작업으로 인한 시간과 계산의 소모를 줄이기 위해 각각의 빔관련 변수들을 고려하여 병소의 체적내에 구형의 선량분포를 가지

는 isocenter들을 배치시키고, 병소의 체적내에 단순히 isocenter들을 채우기만 할 뿐 아니라 빔관련 변수들과 선량분포와의 각각의 특성을 함께 살펴보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상 및 구성

본 연구는 정위적 방사선 수술시 고려하는 구형 선량분포를 가지는 isocenter들의 체적내 배치에 대한 특성을 파악하는 것으로 실제 환자의 병소에 대한 자료를 이용하지 않고, 임의의 가상 병소 모델을 설정하고 이에 대하여 일정 계산영역에 대하여 수행되었다. 병소에 대한 배치(Packing)시 특성을 파악하기 위하여 치료 계획시 고려하는 빔관련 변수인 Collimator size, Isocenter의 개수, Isocenter 간의 간격을 고려하여 다음과 같이 연구를 구성하였다.

첫 번째, 가상의 병소 모델을(Fig. 1a) 직육면체형(Cube type)과 원통형(Cylinder type)으로 설정하였으며, 이러한 각각의 병소 모델에 대하여 구형 선량분포를 가지는 isocenter들을 배치(Packing)하고 여기에 다시 구형의 선량분포를 가상의 병소 모델에 대하여 더 근사화 시키기 위해 xy-평면상을 기준으로 z-축에 따라 Cylinder형에 더 근사화 되는 모형을 만들기 위해 45° 회전시킨 후 나타나는 선량분포를 각각 비교하였다(Fig. 1b).

두 번째, 원통형의 병소 모델에 대하여 Isocenter의 개수를 변화시키면서 콜리메이터의 크기(Collimator size)가 다른

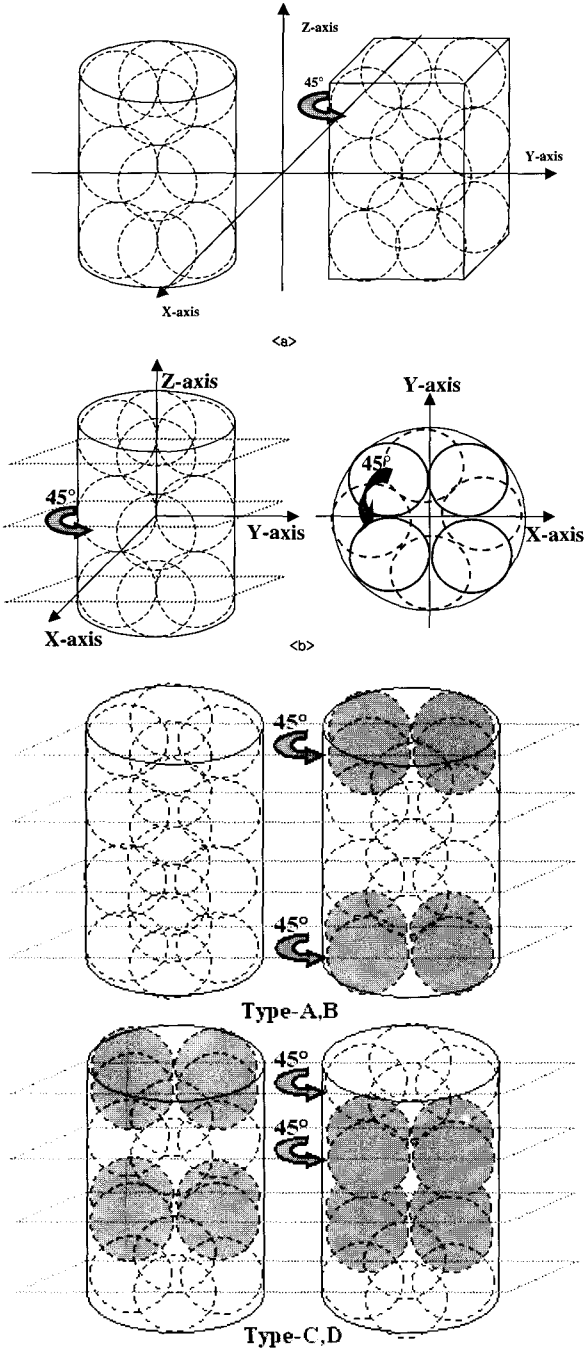


Fig. 1. Schematic for packing by isocenters inside the cube and cylinder type models.

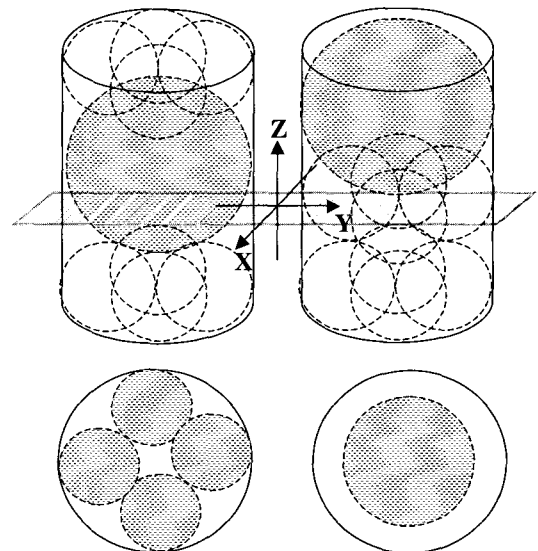


Fig. 2. Packing of isocenters with different collimator size and comparison of dose distribution in identical plane.

isocenter들을 동일한 체적의 병소 모델 내에 배치시켰다. 그 후 콜리메이터의 크기가 다른 isocenter들의 위치를 변화시키면서 각각의 선량분포를 비교하였다(Fig. 2).

세 번째, 병소 모델내의 체적에 대하여 콜리메이터의 크기(Collimator size)를 변화시키면서 병소 모델에 대한 구형 선량분포를 가지는 isocenter의 배치에 따른 체적비(Packing fraction)^{8, 9)}의 변화로서 나타나는 선량분포의 특성을 살폈다(Fig. 3).

$$Packing\ fraction(\%) = \frac{V_{Sphere}}{V_{Tumor}} \times 100$$

본 연구에서는 구형 선량분포를 가지는 isocenter의 배치(Packing)가 병소 모델내의 체적 안에서 이루어지도록 하였으며, 병소내에 hot spot이나 cold spot이 생기지 않도록 병소에 대한 선량분포가 균일성을 가질 수 있도록 isocenter들간의 중첩을 허용하지 않았다. Table 1에서는 사용된 가상 병소 모델, 병소의 크기, 콜리메이터의 크기에 관한 정보를 나타내었다.

2. 선량계산 알고리즘 및 프로그램 구현

선형가속기를 이용한 정위적 방사선 수술에서 선량 계산 모델은 Cunningham model¹⁰⁾에 기본을 둔 갠트리(gantry)와 치료테이블에서의 조합에 의한 한 점에서의 선량을 나타내는 Single isocentric dose model¹¹⁾ 등의 많은 구형 선량 모델(Spherical dose model)들이 있다.

본 연구에서는 Single isocentric dose model를 5개의 상수를 사용해 곡선회귀 시킨 Spherical dose model¹²⁾를 적용

하여 Collimator size를 0.5-3.5 cm로 제한하였고, SAD에서의 Collimator size가 C일 경우 isocenter와 C/2 사이의 거리에 따라 다음과 같이 선량값을 나타내었다.

① C/2 이내에서의 선량은,

$$D = 1 - S_1 \cdot \exp\left[-S_2 \times \left(\frac{C}{2} - r\right) - S_3 \times \left(\frac{C}{2} - r^2\right)\right]$$

값과,

② C/2 이상에서의 선량은,

$$D = S_4 + (1 - S_1 - S_4) \cdot \exp\left[-S_5 \times \left(r - \frac{C}{2}\right)\right]$$

여기서,

C : Collimator diameter

R : Radial distance from the isocentre

S : Fitting parameter

을 각각 나타내고, 위의 두 선량식(①, ②)에서의 변수들은 다음의 Table 2에 나타내었다.

그리고, 위의 선량계산식 ①, ②를 바탕으로 IDL 5.5 버전을 사용하여 선량계산 프로그램을 구현하였다. 본 선량계산 프로그램은 다양한 형태의 병소 모델에 대하여 높이(h)와 반지름(r)을 입력받아 병소의 모델을 생성하고, Collimator size와 isocenter의 좌표를 입력받아 병소 모델내에 구형 선량분포를 가지는 isocenter들을 배치시키고, 생성된 병소 모델내의 각 point에서 선량을 계산한다. 계산영역은 6×6×6 cm³의 정육면체이고, 이를 1 mm 간격으로 60×60×60개의 point로 나누어져 있다. 이후 계산결과는 최대값을 100으로 하여 이에 대해 규격화(정규화: Normalization)하여 출력되도록 하였다. 본 연구의 선량분포를 나타내는 출력데이터

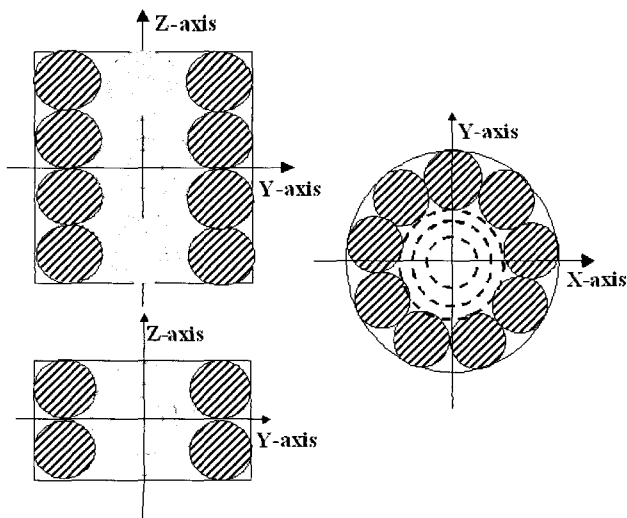


Fig. 3. Schematic presented by method III.

Table 1. Data of target size and collimator size as packing of spherical dose model

구분	Target Model	Target size (r : h단위(mm))	Collimator size (mm)
Method I	Cube type	5.3 : 20.0	5
	Cylinder type	6.0 : 20.0	5
Method II	Cylinder type	6.0 : 20.0	5 & 10
Method III	Cylinder type		5, 6, 7, 8
	Open	9.3 : 10.0	
	Close	9.3 : 20.0	

Table 2. Parameters for the spherical dose model

Collimator size(cm)	S1	S2	S3	S4	S5
1	0.320	7.430		0.020	2.520
2	0.232	7.009	0	0.032	1.606
3	0.257	9.575		0.036	1.071
all	0.249	7.019		0.029	1.927

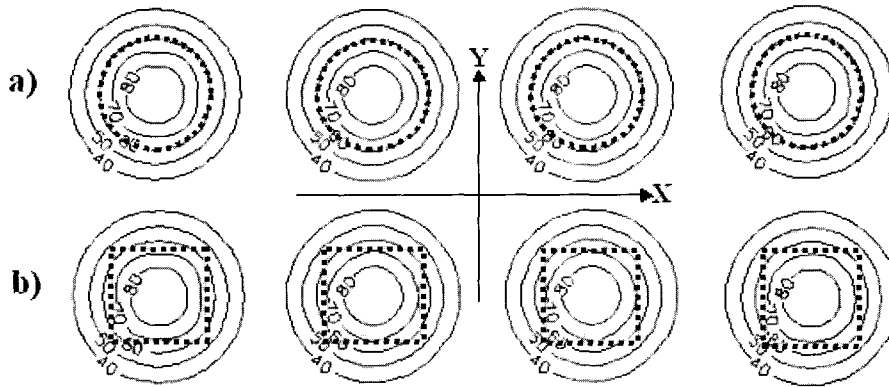


Fig. 4. a) Two dimensional dose distribution of Cylinder type model and b) Cube type model.

는 일차원적인 선량분포 결과를 보여주는 Dose profile과 삼차원적 결과를 나타내어 주는 Dose Volume Histogram (DVH)^{13, 14)}을 이용하여 각 병소 모델에 대한 선량분포를 비교 및 분석을 하였다.

결 과

1. 병소의 모델에 따른 경우

동일한 Collimator size와 isocenter의 개수를 같이 하여 모양이 다른 Cube type과 Cylinder type의 병소 모델내에 구형의 선량분포를 가지는 isocenter들을 packing 시켰을 때 Fig. 4와 같은 선량분포를 볼 수 있다.

Cylinder type과 Cube type에 대한 isocenter들의 체적내 배치에 대한 결과, 병소 모델내의 중심에서는 선량분포가 거의 일치하였으나, 표면 부근에서는 이차원적인 선량분포를 나타내고 있는 Fig. 4에서 알 수 있듯이 각 병소 모델의 모양에 따른 특성상 선량분포가 약간의 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 즉, Cube형의 경우에는 외형상 부드럽게 곡면을 형성하지 못하고, 직각으로 꺾어지는 부분에서는 고선량의 spherical dose model 분포가 이루어지기가 힘들지만, 표면 부근에서 Cube형 보다 더 곡면을 이루며 spherical dose model 분포에 더 많이 포함이 되는 Cylinder형이 더 높은 고선량 내에 포함됨을 알 수 있다. 그리고, 이러한 선량분포를 바탕으로 병소의 삼차원적 선량분포의 특성을 나타내는 DVH (Fig. 5)에서는 전체적으로 5-7%의 Cylinder type과 Cube type의 병소 모델에 대한 선량분포의 차이를 나타내고 있다.

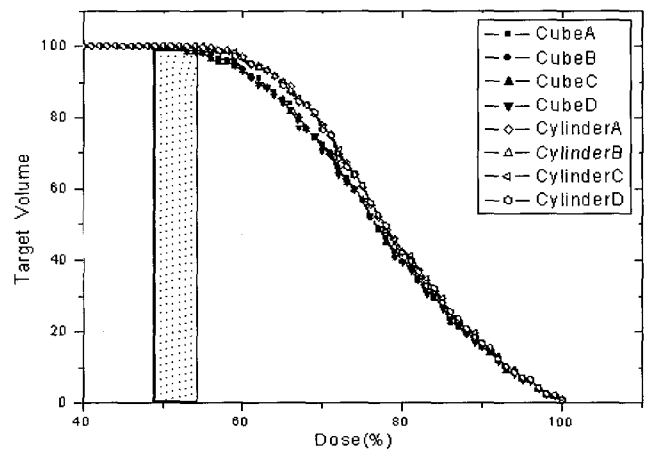


Fig. 5. DVH of cylinder and cube type models.

2. Collimator size와 Isocenter 개수에 따른 경우

본 결과는 동일한 Cylinder type의 병소 모델에 대하여 Collimator size와 Isocenter의 개수를 달리하면서 구형의 선량분포를 가지는 isocenter들을 병소 모델의 체적내에 배치함에 따라 Fig. 6-8과 같은 결과들을 얻었다.

Fig. 6에 나타난 결과들을 보면, 첫 번째 경우(a)는 작은 콜리메이터의 크기(5 mm)를 가지는 동일한 isocenter들로 체적내에 배치시킨 경우이고, 두 번째 경우(b)는 큰 콜리메이터의 크기(10 mm)를 가지는 동일한 isocenter들로 배치시켰으며, 세 번째 경우(c)는 작은 콜리메이터의 크기(5 mm)와 큰 콜리메이터의 크기(10 mm)를 가지는 isocenter들을 조합시킨 것으로 병소 모델내의 체적의 반은 10 mm의 콜리메이터를 가지는 isocenter를 사용하였고, 나머지 반의 체적에 대해서는 5 mm의 콜리메이터를 가지는 isocenter들을 사용하여 배치시켰다. 네 번째 경우(d)는 작은 콜리메이터의

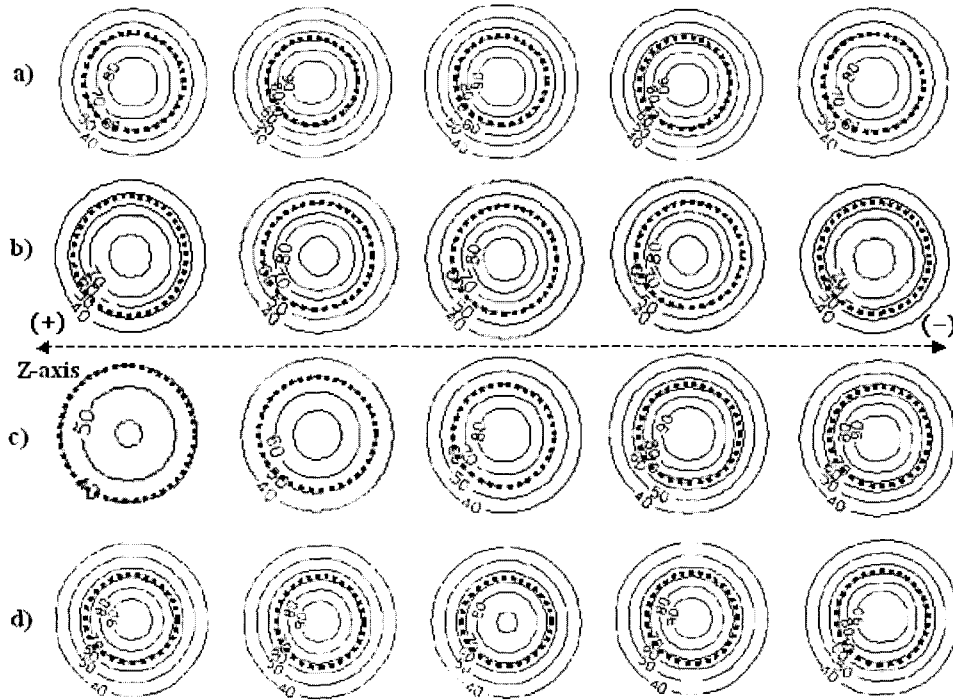


Fig. 6. a) Dose distribution by spherical dose model with identical small collimator size. b) Dose distribution by spherical dose model with identical large collimator size. c) Dose distribution by spherical dose model with variety collimator size and asymmetric location. d) Dose distribution by spherical dose model with variety collimator size and symmetric location (Small collimator size : 5 mm, Large size collimator size : 10 mm).

크기(5 mm)와 큰 콜리메이터의 크기(10 mm)를 가지는 isocenter들을 병소 모델의 체적내 원점을 기준으로 대칭이 되도록 배치시킨 후 나타난 결과이다. 콜리메이터 크기가 작은 것과 큰 것에 의한 isocenter들의 배치에 따른 선량 분포는 Fig. 6a, 6b)에서 잘 나타나듯이 작은 콜리메이터의 크기(5 mm)를 가지 isocenter들을 이용한 배치가 더 높은 고선량 내에서 병소 모델을 포함할 수 있었으며, 콜리메이터 크기가 다른 isocenter들의 조합에 의한 체적내에 배치에 있어서는 Fig. 6-c, d)에서 알 수 있듯이 병소 모델의 원점을 기준으로 구형 선량분포를 가지는 isocenter들을 어떻게 배치하는가에 따라 선량분포의 차이가 아주 많이 나타나고 있다. 병소 모델의 체적내 중심을 기준으로 작은 콜리메이터 크기와 큰 콜리메이터 크기의 isocenter들을 한쪽 방향으로 치우쳐서 각각 배치한 경우는 작은 콜리메이터 크기의 isocenter들로 채워진 영역이 큰 콜리메이터 크기의 isocenter들로 채워진 영역의 선량보다 아주 높은 고선량을 나타내었으며, 이러한 체적내 선량의 차이로 병소의 전체적인 선량분포는 낮았다. 또한 작은 콜리메이터 크기의 isocenter들과 큰 콜리메이터 크기의 isocenter들을 병소 모델내의 원점을 기준으로 적

절히 대칭이 되도록 배치시킨 경우는 동일한 작은 콜리메이터 크기의 isocenter들로만 채워진 경우 (a)보다도 더 높은 고선량내에 병소 모델이 포함되었다.

Fig. 7에서는 병소 모델내의 isocenter들의 배치에 의한 dose profile를 나타내고 있으며, 여기서는 병소 모델의 isocenter가 배치된 후 전체적인 isocenter의 위치가 병소의 원점이 아닌 그 이외의 위치로 변화함을 알 수 있는데, 이는 Fig. 6c)에서와 같이 큰 콜리메이터를 가지는 isocenter가 차지하는 병소내 영역과 비교하여 작은 콜리메이터를 가지는 isocenter가 차지하는 영역이 더 고선량으로 분포됨으로서 병소내 최대선량점(Maximum dose point)은 작은 콜리메이터를 가지는 isocenter들의 위치를 중심으로 나타나게 되어 병소 모델내 dose profile은 대칭을 이루지 않게 된다. 그리고, 병소 모델의 전체적인 선량분포를 나타내는 DVH (Fig. 8)에서는 콜리메이터의 크기가 다른 구형 선량분포를 가지는 isocenter들을 대칭을 이루면서 적절히 조합한 경우가 64%, 동일한 작은 콜리메이터 크기를 갖는 isocenter들로 채워진 경우가 54%, 동일한 큰 콜리메이터의 크기를 갖는 isocenter들로 채워진 경우가 47%, 콜리메이터 크기가 다른 isocenter

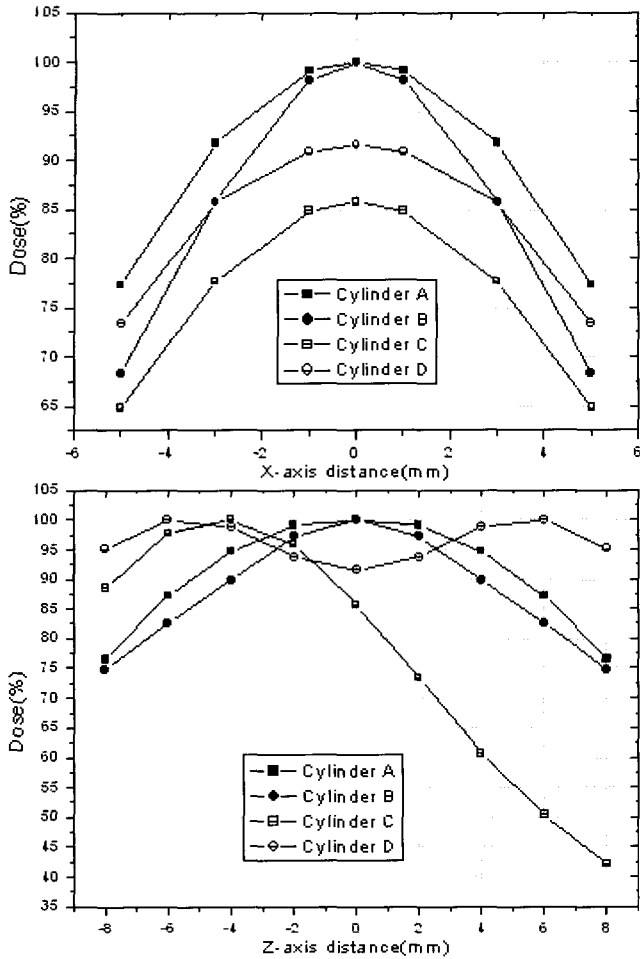


Fig. 7. Dose profile by packing of spherical dose model with different collimator size.

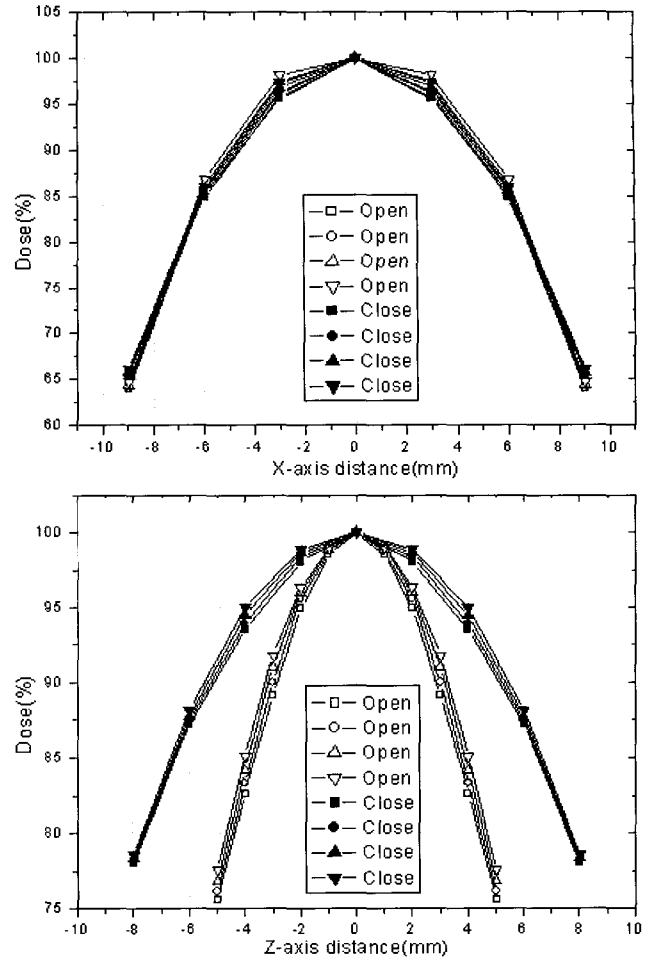


Fig. 9. Dose profile by different gap between isocenter and near isocenter in tumor volume.

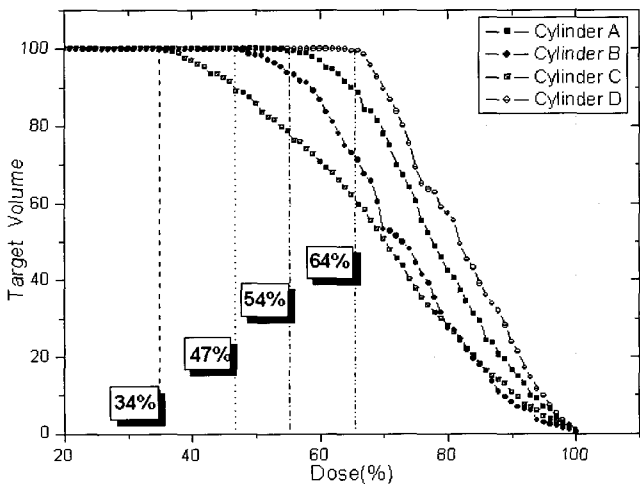


Fig. 8. DVH by packing of spherical dose model with different collimator size and isocenter number.

들을 비대칭적으로 조합한 경우가 34%로 나왔다.

$$(d > a > b > c)$$

3. Isocenter간의 간격에 따른 경우

Cylinder형 병소 모델의 체적내에서 병소의 표면 부근을 모두 둘러싸고 여분의 내부 체적에 대하여 Collimator size를 변화함으로써 isocenter들의 간격을 다르게 하여 배치시켰다. 그리고, 병소 모델의 측면만을 둘러싼 경우(Open형)와 모든 방향으로 둘러싸면서(Closed형) 선량 분포를 확인한 결과 Fig. 9, 10과 같은 그래프를 얻었다. 한편, 병소 모델의 크기는 가장 긴 거리를 기준으로 각각 1.0-2.2 cm, 체적은 2.5-5.0 cm³ 이내로 된 병소 모델을 이용하였다.

Fig. 9의 X-축에 따른 dose profile에서 알 수 있듯이, 모두 65% 이상의 선량 안에 포함되고 있으며, Z-축에 따른 dose profile에서는 측면만을 둘러싸고 내부 여분의 공간에서

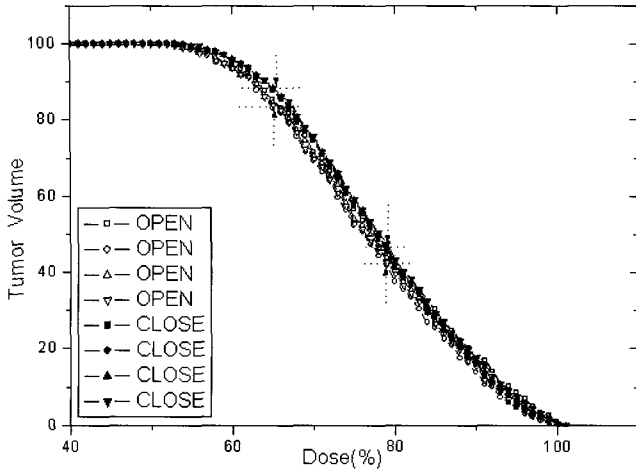


Fig. 10. DVH by different gap between isocenter and near isocenter in tumor volume.

Table 3. Comparison between packing fraction and DVH for tumor model

Packing fraction (%)	DVH (Open-%)	Packing fraction (%)	DVH (Close-%)
41	52	47	53
43	52	48	53
45	52	50	53
48	53	52	53

구형 선량분포를 이루는 isocenter들을 빔 관련 변수에 따라 변화시킨 경우가 모든 방향으로 둘러싸고 변화시킨 경우보다 dose profile의 기울기 자체는 더 컸고, 반치폭(FWHM: Full With Half Maximum)은 더 작았으나, 각각의 병소 체적에 대한 이상적인 dose profile과 비교하면 결과는 많은 차이가 없었다. 이것은 전체적인 병소의 선량 분포를 확인할 수 있는 Fig. 10의 DVH 그래프에서 Open형과 Closed형에서 1-2%의 차이가 나타나고 있는 것에서도 잘 알 수 있다. 모든 병소 모델내에 isocenter들을 배치시킨 후 병소 모델 영역밖의 0.3 cm 이내에서는 40% 이상의 높은 선량을 나타냈으나, 그 이외의 영역에서는 선량분포가 급격히 낮아졌다. 또한, Table 3에서 병소내의 구형 선량분포를 가지는 isocenter들이 차지하는 영역은 병소 전체의 선량 분포에는 상관없이 일정하게 나타나고 있다.

고찰 및 결론

방사선을 이용한 치료 및 수술시 고려되는 주위 정상조직에의 영향과 병소 내에서의 선량분포의 균일성은 수술 계획자가 빔 조사와 관련하여 Collimator size, isocenter의 개수,

isocenter간의 간격, 갠트리의 회전각과 치료 테이블간의 거리등을 고려하여 최적의 치료 및 수술 계획을 수립한다. 현재 구형 선량분포를 가지는 isocenter들의 병소내 배치에 관한 연구는 프로그램 상에서의 기하학적인 배치 알고리즘을 이용한 방법이 널리 알려져 있으며, 이는 단지 불규칙한 모양을 가지는 병소의 체적에 대하여 다양한 콜리메이터의 크기를 가지는 isocenter들을 배치시켰다. 하지만, 선형가속기를 이용한 정위적 방사선 수술시에는 빔관련 변수들과 관련하여 구형 선량분포의 크기 및 시간상의 문제로 인한 많은 개수의 구형 선량분포를 가지는 isocenter들을 만드는 데도 한계가 있다. 또한 감마나이프를 이용한 정위적 방사선 수술시에도 collimator size는 4, 8, 14, 18 mm의 크기만을 가지며, 반구형의 헬멧의 특성상 선량 모델은 완전한 구형이 아닌 타원형을 가진다.

본 연구는 선형가속기에 중점을 두고 빔관련 변수들을 프로그램상에서 쉽게 다룰 수 있고, 실제 치료 및 수술시 나타나는 구형 선량분포의 크기 및 isocenter들의 개수를 고려하여 collimator size, isocenter의 개수, isocenter간 간격의 세 가지 빔관련 변수들을 변화시켰다. 그리고, 구형 선량분포를 가지는 isocenter들의 병소내 배치시 나타나는 많은 특성을 확인할 수 있었고, 모든 배치에 따른 결과에서 선량분포의 균일성을 유지하였다. 본 결과에서 알 수 있듯이 실제 불규칙한 모양의 병소에 대하여 표면 부근에서는 콜리메이터의 크기가 작은 구형 선량 분포를 이루는 isocenter들이 더 나은 고선량을 병소에 조사할 수 있었고, 이는 작은 콜리메이터 크기의 isocenter들이 불규칙한 모양을 가지는 병소의 표면에 대하여 더 많은 접촉의 점을 가지기 때문이며, 치료 및 수술 계획시 이를 이용한 배치 방법은 더 높은 고선량을 병소내에 조사할 수 있을 것이다. 그리고, 다양한 콜리메이터 크기의 isocenter들을 병소내 체적의 원점에 대하여 적절히 대칭을 이루면서 배치를 시키는 것은 더 효과적인 선량 분포를 얻을 수 있었고, 다양한 콜리메이터 크기를 가지는 isocenter들의 packing 후 전체적인 병소에 대한 선량 분포의 isocenter 위치가 변하는 것을 이용하여 실제 병소 자체내에서 암세포의 활성화도에 따라 더 높은 고선량을 병소내 특정 영역에 수송할 수 있을 것으로 사료된다.

일반적으로 물질들 속의 결합은 여러 규칙적인 격자 구조를 가지고 있고, 가장 기본적인 격자 구조인 SC (Simple Cubic)의 경우 격자가 차지하는 공간은 52.40%이고, bcc (Body Centered Cubic)의 경우 68.00%, fcc (Face Centered Cubic)의 경우 74.00%이고, fcc와 2차원적인 구조형태는 같으나 3차원적으로 층의 배치에 따라 구조차이를 나타내

는 hcp (Hexagonal Closed Packed Structure)의 경우 74.04%의 체적비(Packing fraction)를 가진다. 이와 관련하여 본 연구에서는 병소내의 체적비를 변화시키면서 선량분포의 특성을 연구한 경우, 병소 모델의 표면에서부터 구형 선량분포를 가지는 isocenter들을 packing 시킨 후 나머지 여분의 내부 공간에 대하여 콜리메이터의 크기를 변화시키면서 isocenter들을 병소내에 배치하면서 병소 모델의 전체적인 선량분포를 확인한 결과 DVH는 크게 변화가 없음을 알 수 있었고, 이는 방사선 치료 및 수술시 빔이 병소에 조사되는 동안 경유하는 정상조직으로의 조사선량을 줄일 수 있음과 동시에 불필요한 방사선 조사의 양을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 한편, 감마나이프를 이용한 정위적 방사선 수술 계획시에도 선량분포 자체의 약간의 차이는 있으나 타원형의 선량분포를 가지는 isocenter가 병소내 배치되도록 계획을 수립할 때 도움이 되리라 여겨진다.

이번 연구는 Cube형과 Cylinder형에 국한된 가상의 병소 모델에 대하여 이루어 졌으나 향후 다른 모델에 대해서도 계속 연구가 진행되어야 할 것이며, 수술 계획시 고려되는 변수들을 더 적용하여 불규칙한 모양을 가지는 병소에 대한 더 많은 정보를 확보한 후 최종적으로 이러한 특성들을 이용한 치료 및 수술 계획시 시간적인 요소를 줄이기 위하여 병소내 자동적인 선량 분포가 이루어지도록 프로그램적으로 더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. William A. Friedman, John M. Buatti, Francis J. Bova, William M. Mendenhall : Linac radiosurgery A practical guide. Springer p57-99 (1997)
2. Wendell Lutz, Ken R. Winston, Nasser Maleki : A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. Int J Radiation Oncology Biol Phys 14: 373-381 (1998)
3. SM Marcu, QJ Wu. K Pillai, MS Weinhaus : Gammaplan-Leksell Gamma Knife radiosurgery treatment planning verification method. Med Phy Vol 27. No. 9, (2000)
4. Pengpeng Zhang, David Dean, Andrew Metzger, Claudio Sibata : Optimization of gamma knife treatment planning via guided evolutionary simulated annealing. Med Phys Vol 28. No 8. (2001)
5. Hsiao-ming Lu, Hanne M. Kooy, Zach H. Leber, Robert J. Ledoux : Optimized beam planning for linear accelerator based stereo-tactic radiosurgery. Int J Radiation Oncology Biol Phys 39(5):1183-1189 (1997)
6. Q. Jackie Wu, J. Daniel Bourland : Morphology - guided radiosurgery treatment planning and optimization for multiple isocenters. Med Phys 26(10): 2151-2160 (1999)
7. Thomas H. Wagner, Taeil Yi, Sanford L. Meeks, Francis J. Bova, Beverly L. Brechner, Yunmei Chen, John M. Buatti, William A. Friedman, Kelly D. Foote, Lionel G. Bouchet : A geometrically based method for automated radiosurgery planning. Int J Radiation Oncology Biol Phys 48(5):1599-1611 (2000)
8. S.P. Li, Ka-Lok Ng : Monte Carlo study of the sphere packing problem. Science Physica A. 321:359-363 (2003)
9. J.I.E Wang : Packing of Unequal Spheres and automated radiosurgical treatment planning. J Combin Optim 3:453-463 (1999)
10. Johns HE, Cunnigham JR : The physics of radiology. 4th ed. Thomas, Springfield, p371 IL (1983)
11. Rice RK, Hansen JL, Sevansson GK, Siddon RL : Measurement of dose distribution in small beams of 6MV X-rays. Ibid 32:1087 (1987)
12. Suh TS, Bova F, Yoon SC, Shinn KS, Bahk YW : Optimization of dose distribution for linear accelerator based stereotactic radiosurgery. Med Biol Eng Comput 31:S23-S30 (1993)
13. Drzymala RE, Mohan R, Boewster L, Chu J, Goitein M, Harms W, Urie M : Dose-volume histograms. Int J Radiat Oncol Biol Phys 21:714 (1991)
14. E Panitsa, J C rosenwald, C Kappas : Developing a dose-volume histogram computation program for brachytherapy. Phys Med Biol 43:2109-2121 (1998)

Search of Characteristic for Dose Distribution Presented by Multi-isocentric Stereotactic Radiosurgical Plan Using Linear Accelerator

Kyoung Sick Choi, Seung Jong Oh, Tae Suk Suh
Hyoung Koo Lee, Bo Young Choe, and Hung Jae Chun

*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine,
The Catholic University of Korea, Seoul, Korea*

The goal of a radiation treatment plan is to deliver a homogeneous dose to a target with minimal irradiation of the adjacent normal tissues. Dose uniformity is especially important for stereotactic radiosurgery using a linear accelerator. The dose uniformity and high dose delivery of a single spherical dose distribution exceed 70%. This also results with a similar stereotactic radiosurgical plan using a Gamma Knife. The dose distribution produced in a stereotactic radiosurgical plan using a Gamma Knife and Linear accelerator is spherical, and the application of the sphere packing arrangement in a real radiosurgical plan requires much time and skill. In this study, we found a characteristic of dose distribution with transformation of beam parameters that must be considered in a radiosurgical plan for effective radiosurgery. First, we assumed a cylinder type tumor model and a cube type tumor model. Secondly, the results of the tumor models were compared and analyzed with dose profiles and DVH_(Dose Volume Histogram) representative dose distribution. We found the optimal composition of beam parameters_(i.e. collimator size, number of isocenter, gap of isocenters etc.), which allowed the tumor models to be involved in the isodose curve at a high level. In conclusion, the characteristics found in this study are helpful for improving the effectiveness and speed of a radiosurgical plan for stereotactic radiosurgery.

Key Words : SRS, Radiosurgical plan, Beam parameters, Dose distribution