

## 정위방사선치료 시 적분 생물학적 유효선량 및 방사선조사용적을 이용한 Total Arc Degree의 최적화

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 치료방사선과학교실\*,  
한양대학교 의과대학 치료방사선과학교실†

임도훈\* · 이명자† · 전하정† · 김대용\*

**목적** : 정위방사선치료 시 정상 뇌 조직을 고선량의 방사선으로부터 최대한 보호하며 치료의 효율성을 높이기 위하여 치료 인자 중 콜리메이터의 크기와 arc 간 간격에 따른 이상적인 total arc degree (TAD) 값을 제시하고자 한다.

**대상 및 방법** : XKnife-3 planning system을 사용하여 환자의 송과체 부위에 방사선 빔의 회전중심점을 위치시킨 후 12, 20, 30, 40, 50 그리고 60 mm 직경의 정위방사선치료용 원형 콜리메이터를 이용하여 각각의 콜리메이터 직경 별로 TAD를 100, 200, 300, 400, 500, 600도, 그리고 arc 간 간격을 30도(6-arc system)와 45도(4-arc system)로 설정하여 방사선치료계획을 수립하였다. 치료계획을 통해 얻은 누적선량체적히스토그램을 이용하여 회전중심점 처방선량의 50% 이상 조사되는 정상 뇌의 용적( $V_{50}$ ) 및 적분 생물학적 유효선량(integral biologically effective dose)을 이용하여 각각의 TAD에 따른 방사선치료계획을 비교하였다.

**결과** : TAD에 따른  $V_{50}$ 의 변화는 arc 간 각도가 30도인 경우에는 콜리메이터 직경과 관계없이 TAD가 증가할수록 감소하는 양상을 보였으나, 45도의 arc 간 각도에서는 400도의 TAD까지는 감소하다가 400도 이상의 TAD에서  $V_{50}$ 은 증가하거나 변화가 없었다. 적분 생물학적 유효선량 값의 변화는 arc 간 간격이 30도인 경우에는 콜리메이터의 직경에 관계없이 TAD가 증가함에 따라 미소하게 감소하는 양상을 보였다. arc 간 각도가 45도인 경우에는 콜리메이터 직경이 40 mm 이하에서는 TAD가 증가함에 따라 적분 생물학적 유효선량은 계속 감소하였으나, 50 mm와 60 mm 직경의 콜리메이터에서는 TAD가 400도까지는 감소하다가 500도 이상의 TAD에서는 증가하였다.

**결론** : 정위방사선치료 시 400도 정도의 TAD를 사용하는 것은 300도 이하 혹은 500도 이상의 TAD를 사용하는 것보다 치료 효과를 높이면서 치료계획과 치료 시 장비 및 인적 자원의 효율적인 운용을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 정위방사선치료, Total arc degree, 적분생물학적유효선량

### 서 론

방사선치료의 목적은 병변 내의 방사선 선량을 균일하게 유지하여 종양을 치료하면서 반면에 주위의 정상 조직의 방사선 선량을 최소화하여 방사선 부작용을 줄이는데 있다. 따라서 방사선치료 시 치료 병변에 대한 방사선치료의 효과뿐만 아니라 정상 조직에 대한 방사선의 영향까지 미리 예측할 수 있어야 한다. 특히 방사선치료의 목표가 되는 병변과 인접하여 결정 장기(critical organ)가 있을 경우에는 방사선치료계획의 중요성이 더욱 커진다. 그러므로, 고선량의 방사선을 조사시켜야 하는 뇌 병변의 방사선치료에서는 방사선 부

작용을 줄이며 치료효과(therapeutic ratio)를 극대화시키기 위한 다각적인 노력이 시도되어왔으며, 이는 1950년대 이후로 발전을 거듭한 정위방사선수술(stereotactic radiosurgery)<sup>1-6)</sup>과 함께 정위방사선수술의 장점과 통상적인 분할 방사선치료의 이점을 살린 분할정위방사선치료(fractionated stereotactic radiotherapy)<sup>7,8)</sup>를 이용한 치료의 증가로 나타나고 있다.

본 연구는 이러한 정위방사선치료에 사용되는 매개변수 중에서 다양한 크기의 콜리메이터, arc 간 간격 및 total arc degree (TAD)에 따른 서로 다른 치료계획을 비교하여 정상 뇌 조직을 고선량의 방사선으로부터 최대한 보호할 수 있는 TAD를 찾고자 하였다.

### 대상 및 방법

표준화된 두부모형의 모델로서 임의의 환자의 뇌 단층촬영 영상을 이용하여 정위방사선치료계획을 수립하였다. 환자

이 논문은 2000년 11월 23일 접수하여 2001년 4월 12일 채택되었음.

책임 저자: 전하정, 한양대학교 의과대학 치료방사선과학교실  
Tel: 02)2290-8617, Fax: 02)2292-7735  
E-mail: rthcchun@hanyang.ac.kr

의 두부에 정위 프레임을 설치한 뒤 뇌 단층촬영을 하였다. 뇌 단층촬영은 방사선치료의 표적 부위는 3 mm 간격으로, 나머지 부위는 5 mm 간격으로 촬영하였다. 단층촬영된 영상은 정위방사선치료의 선량분포계획 프로그램인 XKnife-3 planning system (Radionics®, USA)을 이용하여 치료계획을 하였다.

뇌의 중앙에 위치한 종양을 가상으로 하여 송과체 부위에 정위방사선치료의 회전중심점을 위치시킨 후 하나의 회전중심점과 4MV 선형가속기를 이용한 치료계획을 하였다. 방사선 조사야의 크기는 12, 20, 30, 40, 50, 60 mm 직경의 정위 방사선치료용 원형 콜리메이터를 사용하였으며, 각각의 콜리메이터 직경 별로 TAD를 100, 200, 300, 400, 500, 600도로 설정하였다. 또한, 각각의 arc 간 간격은 30도와 45도로 정한 뒤 각각의 arc의 빔이 대칭이 되지 않도록 배열하였다. arc 간 간격이 30도인 경우에는 치료 시 couch의 각도가 0, 30, 60, 90, 120, 150도가 되는 6개의 arc를 사용하고, 45도인 경우에는 couch의 각도가 0, 45, 90, 135도가 되는 4개의 arc를 사용하였다. 각 방사선 빔의 weighting은 동일하게 하였다. 방사선 선량은 콜리메이터 직경에 상관없이 회전중심점에 매일 2 Gy의 방사선 선량이 조사되도록 처방하였으며, 25회의 분할치료를 목표로 총 방사선선량을 50 Gy로 설정하였다.

콜리메이터의 직경, arc 간 간격 및 TAD의 조건에 따른 서로 다른 치료계획을 비교하기 위하여, 물리학적 기준으로 회전중심점 선량의 50% 이상 조사되는 뇌 조직의 용적(V<sub>50</sub>)을, 생물학적 기준으로 적분 생물학적 유효선량(integral biologically effective dose)을 선정하였다. 회전중심점 선량을 기준으로 10% 간격의 선량으로 구획을 나뉘 뇌 용적을 구하며, 이렇게 구한 미분 선량체적히스토그램(differential dose-volume histogram) 값을 이용하여 회전중심점 선량의 50% 이상 조사되는 뇌의 용적(V<sub>50</sub>)을 계산하였다. 적분생물학적유효선량은 미분 선량체적히스토그램과 선형이차함수모델(linear-quadratic model)을 기초로 한 생물학적 유효선량(biologically effective dose)의 계산식을 이용한 Clark과 Souhami 등이 만든 식을 사용하여 구하였다.<sup>9)</sup> 적분생물학적유효선량 값은 회전중심점 선량에 대한 뇌 조직의 방사선 선량을 10% 단위로 구분하여 11구획을 나눈 뒤, 각각의 방사선 선량(di)에 포함되는 방사선에 조사된 부분 용적(Δvi)을 대입하여 계산된 생물학적유효선량 값을 모두 더한 값으로 나타난다. 이 때, α/β 값은 3으로 하였다.

$$\text{적분생물학적유효선량} = \sum_i n d_i \left( 1 + \frac{d_i}{\alpha/\beta} \right) \cdot \frac{\Delta v_i}{V}$$

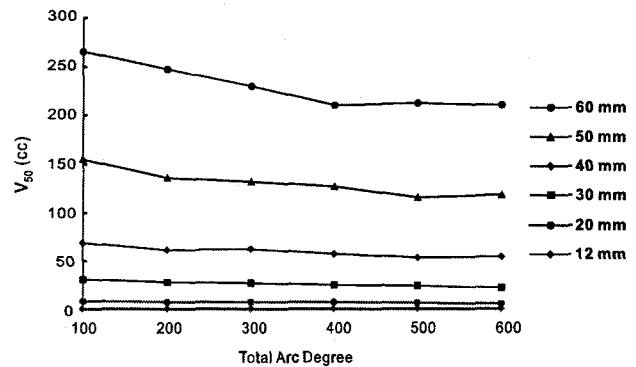
(n=분할조사 횟수) (V=뇌의 총 용적)

## 결 과

정위방사선치료계획의 조건 중에서 콜리메이터의 크기, TAD, 그리고 arc 간 간격, 이 세 가지의 조건으로 모두 72개의 치료계획을 수립하였다. 각각의 치료계획은 고선량의 방사선이 조사되는 정상 뇌의 용적을 회전중심점 선량의 50% 이상 조사되는 뇌의 용적(V<sub>50</sub>)으로, 또한 이에 의한 생물학적 효과를 알아보기 위해 적분생물학적유효선량값을 선정하여 비교하였다.

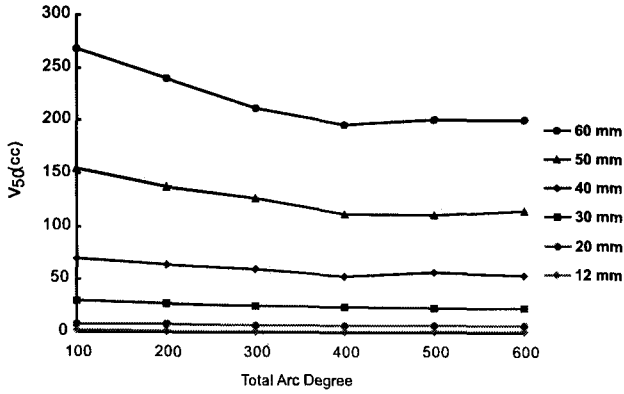
V<sub>50</sub>은 arc 간 각도가 30도(6-arc system)인 경우에는 콜리메이터 직경에 상관없이 TAD가 증가할수록 감소하였다(Fig. 1). 반면에 arc 간 각도가 45도(4-arc system)인 경우에는 콜리메이터 직경에 상관없이 TAD가 증가함에 따라 400도까지는 V<sub>50</sub>은 감소하다가 500도 이상의 TAD에서는 증가하거나 변화가 없었다(Fig. 2). 또한 6-arc system과 4-arc system 간에는 동일한 직경의 콜리메이터와 동일한 TAD를 사용하였을 때 V<sub>50</sub>은 6-arc system 보다 4-arc system 사용한 경우에 전반적으로 작은 양상을 나타내었다.

적분 생물학적 유효선량 값은 30도의 arc 간 각도(6-arc system)에서는 콜리메이터 직경에 상관없이 TAD가 증가함에 따라 감소하는 양상을 보였다(Fig. 3). 45도의 arc 간 각도



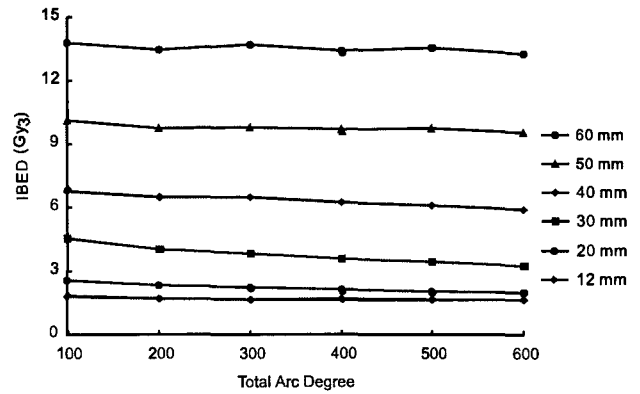
Collimator Diameter	Total Arc Degree					
	100	200	300	400	500	600
12 mm	1.35	1.32	1.30	1.28	1.30	1.28
20 mm	8.70	8.02	7.90	7.65	6.66	5.88
30 mm	30.9	28.1	27.0	25.3	24.3	22.3
40 mm	68.7	61.2	62.0	56.8	52.8	54.4
50 mm	155.1	135.5	131.5	127.0	115.1	118.2
60 mm	264.9	247.1	229.2	210.0	212.5	210.6

Fig. 1. The volume of normal brain that is delivered high dose radiation [V<sub>50</sub> (cc)] according to various collimator diameter in 30 degree arc interval.



Collimator Diameter	Total Arc Degree					
	100	200	300	400	500	600
12 mm	1.97	1.39	1.17	1.21	1.25	1.38
20 mm	8.10	7.36	7.12	6.30	6.35	6.90
30 mm	30.0	27.1	25.4	24.0	23.7	23.5
40 mm	70.0	64.2	60.0	52.8	57.0	53.8
50 mm	154.5	137.0	126.3	112.7	111.1	115.3
60 mm	268.0	240.1	212.2	196.0	201.5	201.0

Fig. 2. The volume of normal brain that is delivered high dose radiation [V<sub>50</sub> (cc)] according to various collimator diameter in 45 degree arc interval



Collimator Diameter	Total Arc Degree					
	100	200	300	400	500	600
12 mm	1.82	1.70	1.66	1.64	1.64	1.66
20 mm	2.68	2.49	2.17	2.04	2.00	2.00
30 mm	4.30	4.01	3.62	3.49	3.26	3.26
40 mm	6.86	6.47	6.32	5.92	6.01	5.79
50 mm	10.32	9.96	9.91	9.56	9.55	9.84
60 mm	14.12	13.68	13.45	13.29	13.53	14.09

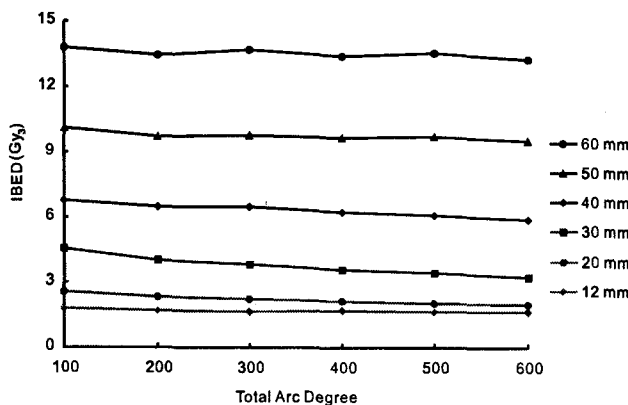
Fig. 4. Integral biologically effective dose (Gy<sub>3</sub>) according to various collimator diameter in 45 degree arc interval.

(4-arc system)에서는 40 mm 이하의 콜리메이터 직경을 사용한 경우 TAD가 증가함에 따라 계속 적분 생물학적 유효선량 값은 감소하였다. 반면 50 mm와 60 mm 직경의 콜리메이터에서는 적분 생물학적 유효선량 값이 40도까지는 TAD가 증가함에 따라 감소하다가 50도 이상의 TAD에서는 증가하는 양상을 나타내었다(Fig. 4). 또한 적분 생물학적 유효선량 값은 6-arc system 보다 4-arc system 사용한 경우에 전 반적으로 작은 양상을 나타내었다.

### 고안 및 결론

정위방사선치료는 통상적인 방사선치료에 비해 치료효율을 높일 수 있는 치료방법이나, 치료에 사용되는 방사선 범의 조건에 따라 방사선 부작용이 다르게 나타날 수 있다. 따라서 방사선치료에 앞서 방사선 부작용의 가능성을 줄이기 위하여, 방사선치료계획 시에 다수의 치료계획이 필요하며, 이들의 우열을 가리는 방법으로 고선량의 방사선이 조사되는 정상 조직의 용적을 비교하고, 이로 인한 생물학적 효과를 예측함으로써 방사선치료의 치료효율을 높여야 한다.

고선량의 방사선이 조사되는 정상 조직의 용적을 비교하는 방법으로 Graham 등<sup>10)</sup>은 하나의 회전중심점에 대하여 직경 10에서 55 mm의 콜리메이터를 사용하여, 고정된 3개 및



Collimator Diameter	Total Arc Degree					
	100	200	300	400	500	600
12 mm	1.78	1.68	1.66	1.67	1.66	1.63
20 mm	2.57	2.34	2.22	2.12	2.05	1.98
30 mm	4.55	4.02	3.84	3.58	3.41	3.26
40 mm	6.78	6.47	6.47	6.23	6.10	5.88
50 mm	10.11	9.74	9.78	9.69	9.71	9.53
60 mm	13.78	13.47	13.71	13.40	13.53	13.26

Fig. 3. Integral biologically effective dose (Gy<sub>3</sub>) according to various collimator diameter in 30 degree arc interval.

6개의 방사선 빔, 그리고 1, 2, 3, 5, 9개의 arc를 사용한 3차원적 호형회전치료를 비교하였다. 3차원적 호형회전치료의 TAD는 하나의 arc를 사용할 때에는 359도, 2개 이상의 arc를 사용하는 경우에는 arc당 120도씩 설정하였다. 방사선 빔의 배열에 따른 선량분포의 비교는 선량체적히스토그램을 이용하여 처방선량(90%의 등선량)의 50% 등선량 이상 포함되는 정상 뇌 조직의 용적을 비교한 결과, 모든 콜리메이터 직경에서 3개의 arc (TAD는 360도)를 사용한 호형회전치료가 정상 뇌 조직의 용적이 가장 적게 나왔으며, 5개 이상의 arc 사용은 3개의 arc 사용에 비교해서 큰 이득이 없었다. 또한, 콜리메이터 직경이 20 mm 이상인 경우에는 6개의 고정된 빔 사용은 다수의 3차원적 호형회전 방법과 비슷한 정도의 정상 조직을 보호할 수 있었다고 발표하였다. 본 연구에서도 정위방사선치료 시 방사선 부작용의 가능성이 있는 고선량의 방사선이 조사되는 정상 뇌 조직의 용적을 회전중심점 선량의 50% 이상 방사선 선량을 받는 뇌 조직의 용적( $V_{50}$ )으로 정의하여 비교한 결과,  $V_{50}$  값은 30도의 arc 간 각도에서는 콜리메이터 직경에 관계없이 TAD가 증가할수록 감소하였으며, 45도의 arc 간 각도에서는 400도의 TAD까지는 감소하다가 400도 이상에서는 증가하거나 변화가 없음을 나타내었다. 또한 arc 간 간격이 30도인 6-arc system 보다 간격이 45도인 4-arc system에서 전반적으로 작은  $V_{50}$  값을 나타낸바, 4개의 arc로 400도 정도의 TAD를 사용하여 치료계획을 하는 것이 고선량의 방사선이 조사되는 정상 뇌 용적을 줄이며, 실제 치료 시 장비와 인적 자원의 효율을 높일 수 있다. 그러나 이러한 물리학적 방법으로 다양한 방사선치료계획을 고선량의 방사선이 조사되는 정상 조직의 용적의 차이로 구분하여 비교하는 것은 정상 조직의 용적을 줄이는 의미는 있지만, 실제로 방사선 선량과 방사선이 조사되는 정상 조직의 용적에 따른 방사선 부작용의 차이에는 충분한 정보를 제공하지 못한다는 것에 주의해야 한다. 따라서 방사선에 조사되는 정상 조직의 용적과 방사선 선량의 생물학적 효과를 평가하고자 하는 노력이 있어왔다.

방사선 선량에 따른 생물학적 효과를 예측하기 위하여 Kutcher 등<sup>11)</sup>은 Emami 등<sup>12)</sup>에 의해 이미 밝혀진 균등하게 방사선이 조사된 정상 조직의 부작용 가능성과 선량체적히스토그램을 이용하여 정상조직손상확률(normal tissue complication probability: NTCP)을 발표하였으며, Niemierko, Lyman과 Kutcher 등은 불균등하게 방사선이 조사된 정상 조직에 대한 NTCP 값을 정량적으로 평가하였다.<sup>13-16)</sup> 반면에 Colombo 등은 NTCP를 사용하여 선형가속기를 이용한 정위방사선수술 시 NTCP 값의 변화를 구하였다.<sup>17)</sup> Colombo 등에 의하면, 15

mm와 25 mm 직경의 콜리메이터와 다수의 arc를 사용한 TAD에 따른 NTCP 값은 90도부터 180도의 TAD에서 콜리메이터 직경이 15 mm인 경우에는 140도, 그리고 25 mm인 경우에는 100도에서 가장 적은 NTCP 값을 보였으며, 최대 및 최소의 NTCP 값의 변화는 각각 4%와 1%이었다. 또한 15 mm 직경의 콜리메이터와 9개의 arc를 사용한 경우에 NTCP 값은 160도의 TAD까지는 감소하다가 그 이후부터는 증가하는 양상을 보였고 최대값과 최소값의 차이는 6.5%를 나타내었다. Colombo 등은 비록 NTCP가 방사선 부작용의 위험성에 대한 절대적인 수치는 아니지만 방사선치료계획의 질적인 비교에 유용할 수 있으며, 최선의 치료계획은 NTCP 값을 줄이면서 표적 용적내의 최대의 방사선 균질성을 나타내는 치료 계획이라고 주장하였다. 본 논문에서는 제시되지 않았으나, 72개의 방사선치료계획을 NTCP를 이용하여 비교한 결과, 동일한 콜리메이터 직경, 동일한 arc 간 각도에서 TAD에 따른 NTCP 값의 차이는 1% 미만이었으며, 따라서 TAD의 변화에 따른 정위방사선치료계획을 비교하는 데에는 적절치 못한 것으로 나타났다. 이는 NTCP 값에 필요한 변수 중 뇌 조직의 volume factor ( $n$ )는 0.25로 방사선 선량에 대한 방사선이 조사된 뇌 조직의 용적 효과(volume effect)의 차이가 적고, 따라서 TAD나 콜리메이터 직경에 따른 NTCP의 차이는 크지 않아, NTCP 값으로 정위방사선치료 시 서로 다른 방사선치료 계획을 비교하는 데에는 적절치 않았던 것으로 판단된다.

본 연구에서는 방사선치료계획을 비교하기 위한 생물학적 기준으로는 NTCP 보다는 적분 생물학적 유효선량을 선택하였다. 적분생물학적유효선량은 Clark와 Souhami 등<sup>9)</sup>이 방사선 부작용의 가능성을 평가하는 생물학적 기준으로 제안하였는데, 그들은 분할정위방사선치료를 시행한 환자들을 대상으로 후향적 분석을 한 결과, 방사선치료 후 뇌간(brain stem)에 방사선 부작용이 있었던 환자들의 적분 생물학적 유효선량 값이 방사선 부작용이 없었던 환자에 비해 높았으며, 뇌간의 effective threshold dose는 2.5 Gy의 매일 치료 선량으로 치료 시 60 Gy라고 보고하였다. 본 연구에서 적분 생물학적 유효선량을 적용하여 계산한 결과, 적분 생물학적 유효선량의 최대값 및 최소값의 차이는 6%에서 28%로, 본 연구의 다양한 치료계획을 비교하는 데에는 적분 생물학적유효선량이 NTCP 보다는 유용하게 사용될 수 있었다.

이상의 결과로 물리학적 기준인  $V_{50}$ 과 생물학적 기준인 적분 생물학적 유효선량으로 콜리메이터 크기, arc 간 간격 및 TAD에 따른 치료계획을 비교한 결과, 정위방사선치료 시 동일한 콜리메이터와 동일한 arc 간 간격에서는 400도 정도

의 TAD를 사용하는 것이 300도 이하 혹은 500도 이상의 TAD의 사용보다 더 효율적이며, 특히 콜리메이터 크기가 50 mm 이상일 경우 400도 이상의 TAD 사용은 이득이 없을 것으로 판단된다. 또한 4개의 arc 사용이 6개의 arc 사용에 비해 V50과 적분 생물학적 유효선량 값이 전반적으로 비슷하거나 작은 양상을 보임으로써, 6개의 arc 사용보다는 4개의 arc 사용으로도 충분히 정상 조직을 보호할 수 있을 것으로 생각된다. 이와 같이 기본적인 정위방사선치료계획의 변수를 표준화하여 간단한 치료계획은 물론, 보다 복잡한 치료계획에도 이러한 변수를 적용함으로써 짧은 시간 내에 최대의 방사선치료효과를 내는 적절한 치료계획을 얻을 수 있으며, 또한 실제 치료 시 인적 자원 및 치료 장비를 효율적으로 사용이 가능하리라 판단된다.

본 연구에서는 방사선의 생물학적 효과의 기준으로 적분 생물학적 유효선량을 사용하였다. 그러나 Fig. 3, 4에서 보듯이 적분 생물학적 유효선량 값은 TAD에 따라 변화의 추이는 있지만, 이것이 임상적으로 어느 정도의 의미가 있을 지에는 확실한 해답을 줄 수는 없었다. 따라서 고선량의 방사선이 조사되는 정상 뇌의 용적이나 NTCP 혹은 적분 생물학적 유효선량 등과 같은 방사선 생물학적 기준이 실제 방사선 부작용을 예측할 수 있는지에 대한 지속적인 임상 연구가 필요하겠다.

본 연구는 정위방사선치료가 보편화되고 있는 시점에서 치료효율을 높이고 간단하면서도 체계화된 정위방사선치료의 치료계획 방법을 찾고자 하였다. 그 시발로서 뇌 중앙에 위치한 병변을 가상하여 다양한 치료계획을 세워 비교하였다. 그러나 정위방사선치료계획에 필요한 변수들은 뇌 병변의 위치에 따라 다양하며, 또한 그 사용에 제한이 있을 수 있다. 따라서 뇌 중앙 병변의 방사선치료 시 표준화된 변수를 구한 연구를 바탕으로 각각의 뇌 병변에 대한 적절한 변수를 찾는 노력이 필요하며, 다양한 뇌 병변에 대한 치료계획의 표준화 작업이 앞으로 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Leksell L. The stereotaxis method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand* 1951;102:316-319
2. Larsson B, Leksell L, Rexed B. The high energy proton beam as a neurosurgical tool. *Nature* 1958;182:1222-1223
3. Kjellberg RN, Shintani A, Frantz AG, Kliman B. Proton beam therapy in acromegaly. *N Eng J Med* 1968;278:689-695
4. Kjellberg RN, Kliman B. Bragg peak proton hypophysectomy for hyperpituitarism, induced hypopituitarism, and neoplasm. *Progress of Neurological Surgery* 1975;6:295-325
5. Leksell L. Cerebral Radiosurgery. Gamma thalamotomy in two cases of intractable pain. *Acta Chir Scand* 1968;134:585-595
6. Betti OO, Derechinsky VE. Hyperselective encephalic irradiation with linear accelerator. *Acta Neurochir* 1984;33(suppl):385-390
7. Kim DY, Ahn YC, Huh SJ, et al. Fractionated stereotactic radiation therapy for intracranial benign tumor: preliminary results of clinical application. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol* 1998;16:185-194
8. Kim DY, Ahn YC, Huh SJ, et al. Fractionated stereotactic radiation therapy for intracranial malignant tumor: preliminary results of clinical application. *J Korean Cancer Assoc* 1998;30:583-590
9. Clark BG, Souhami L, Pla C, et al. The integral biologically effective dose to predict brain stem toxicity of hypofractionated stereotactic radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;40:667-675
10. Graham JD, Nahum AE, Brada M. A comparison of techniques for stereotactic radiotherapy by linear accelerator based on 3-dimensional dose distributions. *Radiother Oncol* 1991;22:29-35
11. Kutcher GJ, Burman C, Brewster L, Goitein M, Mohan R. Histogram reduction method for calculating complication probabilities for three-dimensional treatment planning evaluations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991;21:137-146
12. Emami B, Lyman JT, Brown A, et al. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991;21:109-122
13. Kutcher GJ, Burman C. Calculation of complication probability factors for non-uniform normal tissue irradiation: the effective volume method. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989;16:1623-1630
14. Niemierko A, Goitein M. Calculation of normal tissue complication probability and dose-volume histogram reduction schemes for tissue with a critical element architecture. *Radiother Oncol* 1990;20:166-176
15. Lyman JT, Wolbarst AB. Optimization of radiation therapy, III: a method of assessing complication probabilities from Dose-Volume Histograms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1987;13:103-109
16. Lyman JT, Wolbarst AB. Optimization of radiation therapy, IV: a Dose-Volume Histograms reduction algorithm. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989;17:433-436
17. Colombo F, Francescon P, Cora S, Testolin A, Chiarego G. Evaluation of linear accelerator radiosurgical techniques using biophysical parameters (NTCP and TCP). *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995;31:617-628

---

**Abstract**

---

## **Optimization of Total Arc Degree for Stereotactic Radiotherapy by Using Integral Biologically Effective Dose and Irradiated Volume**

Do Hoon Lim, M.D.\* , Myung Za Lee, M.D.† ,  
Ha Chung Chun, M.D.† and Dae Yong Kim, M.D.\*

\*Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center,  
Sungkyunkwan University School of Medicine,

†Department of Therapeutic Radiology, Hanyang University College of Medicine

**Purpose** : To find the optimal values of total arc degree to protect the normal brain tissue from high dose radiation in stereotactic radiotherapy planning

**Methods and Materials** : With Xknife-3 planning system & 4 MV linear accelerator, the authors planned under various values of parameters. One isocenter, 12, 20, 30, 40, 50, and 60 mm of collimator diameters, 100°, 200°, 300°, 400°, 500°, 600° of total arc degrees, and 30° or 45° of arc intervals were used. After the completion of planning, the plans were compared each other using  $V_{50}$  (the volume of normal brain that is delivered high dose radiation) and integral biologically effective dose.

**Results** : At 30° of arc interval, the values of  $V_{50}$  had the decreased pattern with the increase of total arc degree in any collimator diameter. At 45° arc interval, up to 400° of total arc degree, the values of  $V_{50}$  decreased with the increase of total arc degree, but at 500° and 600° of total arc degrees, the values increased. At 30° of arc interval, integral biologically effective dose showed the decreased pattern with the increase of total arc degree in any collimator diameter. At 45° arc interval with less than 40 mm collimator diameter, the integral biologically effective dose decreased with the increase of total arc degree, but with 50 and 60 mm of collimator diameters, up to 400° of total arc degree, integral biologically effective dose decreased with the increase of total arc degree, but at 500° and 600° of total arc degrees, the values increased.

**Conclusion** : In the stereotactic radiotherapy planning for brain lesions, planning with 400° of total arc degree is optimal. Especially, when the larger collimator more than 50 mm diameter should be used, the uses of 500° and 600° of total arc degrees make the increase of  $V_{50}$  and integral biologically effective dose. Therefore stereotactic radiotherapy planning using 400° of total arc degree can increase the therapeutic ratio and produce the effective outcome in the management of personal and mechanical sources in radiotherapy department.

---

**Key Words** : Sterotactic radiotherapy, Total arc degree, Integral biologically effective dose