선형가속기형 방사선수술시 인형 팬텀에서 수정체 및 갑상선 선량

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 치료방사선과*
서울대학교 의과대학 치료방사선과학교실†, 서울대학교 의학연구원 방사선의학연구소‡
김 대 용*† · 김 일 한†‡

Radiation Dose of Lens and Thyroid in Linac-based Radiosurgery in Humanoid Phantom

Dae Yong Kim, M.D.*† and Il Han Kim, M.D.†‡
**Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University College of Medicine, Seoul*
†Department of Therapeutic Radiology, ‡Institute of Radiation Medicine, Medical Research Center, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: Although many studies have investigated the dosimetric aspects of stereotactic radiosurgery in terms of target volume, the absorbed doses at extracranial sites; especially the lens or thyroid - which are sensitive to radiation for deterministic or stochastic effect -have infrequently been reported. The aim of this study is to evaluate what effects the parameters of radiosurgery have on the absorbed doses of the lens and thyroid in patients treated by stereotactic radiosurgery, using a systematic plan in a humanoid phantom.

Materials and Methods: Six isocenters were selected and radiosurgery was planned using the stereotactic radiosurgery system which the Department of Therapeutic Radiology at Seoul National University College of Medicine developed. The experimental radiosurgery plan consisted of 6 arc planes per one isocenter, 100 degrees for each arc range and an accessory collimator diameter size of 2 cm. After 250 cGy of irradiation from each arc, the doses absorbed at the lens and thyroid were measured by thermoluminescence dosimetry.

Results: The lens dose was 0.23±0.08% of the maximum dose for each isocenter when the exit beam did not pass through the lens and was 0.76±0.12 % of the maximum dose for each isocenter when the exit beam passed through the lens. The thyroid dose was 0.18±0.05% of the maximum dose for each isocenter when the exit beam did not pass through the thyroid and was 0.41±0.04% of the maximum dose for each isocenter when the exit beam passed through the thyroid. The passing of the exit beam is the most

J. Korean Soc Ther Radiol Oncol:Vol. 16, No. 4, December, 1998
본 논문은 1995년도 서울대학교병원 지정연구비 지원에 의하여 이루어진 것임
이 논문은 1998년 7월 13일 접수하여 1998년 9월 9일 채택되었음.
책임 저자:김대용, 서울시 강남구 일원동 50 삼성서울병원 치료방사선과

significant factor of organ dose and the absorbed dose by an arc crossing organ decides 80% of the total dose. The absorbed doses of the lens and thyroid were larger as the isocenter sites and arc planes were closer to each organ. There were no differences in the doses at the surface and 5 mm depth from the surface in the eyelid and thyroid areas.

Conclusion : As the isocenter and arc plane were placed closer to the lens and thyroid, the doses increased. Whether the exit beams passed through the lens or thyroid greatly influenced the lens and thyroid dose. The surface dose of the lens and thyroid consistently represent the tissue dose. Even when the exit beam passes through the lens and thyroid, the doses are less than 1% of the maximum dose and therefore, are too low to evoke late complications, but nevertheless, we should try to minimize the thyroid dose in children, whenever possible.

Key Words : Stereotactic radiosurgery, Thermoluminescence dosimetry, Lens, Thyroid

서　　론

정위방사선수술은 다수의 3 차원적 arc 를 사용하여 두부의 작은 병변에 한 번의 고선량을 정밀하게 조사하는 방사선 외부조사기법으로서, 원하는 병변 부위에만 국한해서 다량의 방사선을 조사할 수 있으며, 병변 밖 선량의 급격한 감소로 주위의 정상 조직에는 소량의 방사선만이 조사되는 장점을 지니고 있다. 1951년 200 kVp x-ray를 이용하여 입체적으로 여러 방향에서 뇌병변을 치료한[1] 이후 거듭된 발전을 하여 1950년대 후반에는 싸이크로트론으로부터 생성된 양성자를 이용한 보다 이상적인 치료방법이 개발되었다.[2-4] 그러나 이러한 양성자 빔 치료는 설비가 흔치 않고, 많은 병원단위에서 설치하기에는 경제적인 어려움이 있어 1968년부터 ^{60}Co 동위원소를 이용한 치료방법이 개발되었다.[5] 이후 1984년 선형가속기의 megavoltage x-ray 를 이용한 치료기술이 처음 개발되었는데[6] 이 방법은 감마나이프나 싸이크로트론 등 별도의 고가장비를 도입하지 않고, 기존의 선형가속기를 이용하여 방사선수술 계획용 프로그램과 보조기구만 있으면 치료를 시행할 수 있어 현재 급격히 보편화되고 있는 추세이다.

정위방사선수술은 현재 뇌 동정맥 혈관기형의 치료에 있어 중요한 위치를 차지하고 뇌하수체종양, 수막종, 청신경초종, 전이성 악성뇌종양에 있어서도 연구가 활발히 진행 중이다. 그러나 정위방사선수술에 있어서 target 및 두개강 내 선량 측정에 대해서는 많은 연구들이 발표되고 있지만, 두개강 외의 기관, 특히 수정체와 갑상선의 선량측정에 대한 연구는 매우 극소수에 불과한 실정이다.[7-11] 이 두 장기는 방사선에 매우 민감할 뿐 아니라 target과의 거리도 가까워 상대적으로 다량의 방사선이 흡수되며, 특히 소아환자의 치료 시는 갑상선에 대해서는 발암효과(carcinogenic effect)의 우려도 있기 때문에 정위방사선수술시 조사되는 정확한 선량의 평가가 필요하다. 이에 정위방사선수술시 수정체와 갑상선의 선량을 열형광선량계 (thermoluminescence dosimetry, TLD) 를 이용하여 팬톰에서 정확하게 측정하고, 선량에 미치는 변수를 규명하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 방사선수술 회전중심점의 선정

인체 두부모형(Huestis)에 정위 프레임(Fisher system)을 설치한 뒤 앙와위 자세에서 3mm 간격으로 단층촬영(GE Advantage high-speed)을 시행하였으며 좌우 30도 간격의 기울기 방향으로 영상을 재구성하였다. 여섯 군데의 회전중심점을 선정하였으며 3군데는 좌우 중심선상에 나머지 3군데는 좌우 중심선으로부터 좌측으로 28 mm 떨어진 평행선상 위에 정하였다. 각 회전중심점은 좌우 중심선상의 맨 앞쪽부터 회전중심점 #1-#6 으로 명명하였다(Fig. 1). 각 회전중심점의 위치는 회전중심점 #1을 좌표(0, 0, 0)(Anterior-Posterior, Left-Right, Superior-Inferior, 이하 단위는 mm)의 기준점으로 할 때 다음과 같다: 회전중심점 #2(-28, 0, -6); 회전중심점 #3(-59, 0, 21);

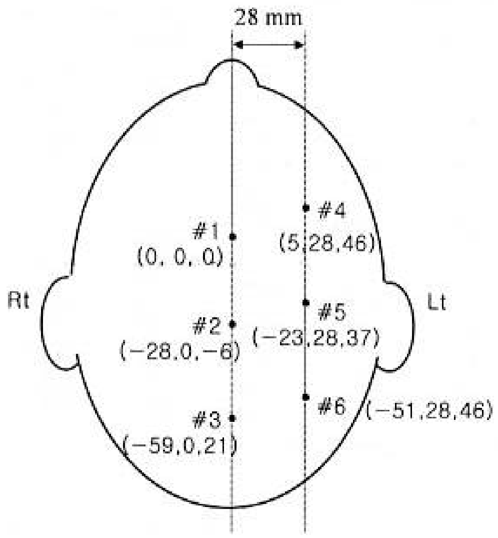


Fig. 1. Location of isocenter #1-#6 in the axial plane. If #1 is represented by(0, 0, 0) as reference point, other isocenters are represented by(anterior-posterior, left-right, superior-inferior: unit=mm) relatively to isocenter #1.

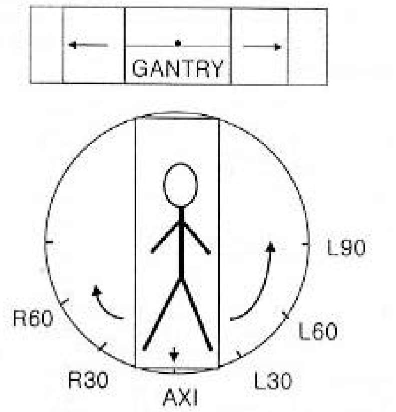


Fig. 2. Position of treatment couch and the corresponding arc plane. The center of these angle of rotation is the radiosurgery isocenter.

회전중심점 #4(5, 28, 46); 회전중심점 #5(-23, 28, 37); 회전중심점 #6(-51, 28, 46). 이때 회전중심점

#1-#3 은 모두 뇌의 좌우 중앙선 위의 점으로서 각각 뇌하수체와 뇌간, 소뇌충부에 위치한 종양을 치료할 경우를 예상하며 위치선정을 하였다

2. 치료계획 및 방사선수술

서울대학교 의과대학 치료방사선과학교실에서 개발한 정위방사선수술 계획시스템(Green Knife)을 이용하여 치료계획을 시행하였다. 각 회전중심점마다 6 arc를 사용하여 치료계획을 수립하였으며, 치료테이블의 각도는 +90도 부터 −60도 까지 30도 간격으로 조절하여, 각 테이블의 각도에 해당하는 arc의 표기는 L90, L60, L30, AXI, R30, R60 으로 하였고(Fig. 2), 각 arc 의 각도범위는 모두 100도를 기준으로 하였다. 회전중심점 #1-#3 의 치료계획에서는 각 arc 의 단면이 수정체나 갑상선을 지나지 않도록 하였고, 회전중심점 #4-#6 의 치료계획에서는 arc L90 에서 exit beam 이 편측 수정체와 갑상선을 포함하는 경우와 포함시키지 않는 경우 2가지로 각각 수립하였다. 치료계획은 회전중심점 별로 최대선량점에 15Gy 조사되도록 각 arc 마다 최대선량점에 250cGy 조사하였다. 사용된 보조 콜리메이터 크기는 직경 20mm 이고,

이 때의 조사면 콜리메이터 크기는 50mm× 50mm 를 이용하였다. 각 couch 각도와 arc 각도, 콜리메이터 cone 크기는 서울대학병원 치료방사선과에서 본 연구 시 이미 경험한 28례 환자의 자료를 바탕으로 가장 흔히 사용되었던 각도 및 크기를 포함하도록 계획하였다. 선형가속기(Varian 2100C)는 6 MV X-선을 이용하였다.

3. 선량측정 및 판독

TLD 칩(TLD-100, Harshaw)을 좌우 상안검과 좌우 갑상선 위 표면에 부착하였다. 방사선 조사시 각 arc 마다 상기 위치에 각각 3개의 TLD 칩을 놓고 그 값을 판독하여 평균낸 값을 취하였다. 판독은 열형광 선량판독기(TLD System-4000, Harshaw)를 이용하고 TLD 판독시 온도는 preheat 100℃, acquire 최대 400℃, anneal 400℃ 로 하였고, 시간은 각 10초, 30초, 5초이었다. 피부 표면과 장기 내부에서의 선량을 비교하기 위해서 좌우 상안검과 좌우 갑상선의 표면과 5mm 깊이의 위치에 각각 TLD 를 위치시키고 선량을 측정하였다. 회전중심점 #1과 #4의 arc L90에서 선량을 측정하였고, 회전중심점 #4에서는 수정체와 갑상선이 포함되도록 치료계획을 수립하였다. 각 arc시 최대선량점에 250cGy 조사하였으며, 각 회전중심점에서 3회 반복 측정하였다.

Table 1. Lens Dose at Isocenter #1 - #3

Isocenter	Lens	Dose according to couch angle(cGy)						TOTAL	
		AXI	L30	L60	L90	R60	R30	dose	(%)
#1	RT	0.92	0.84	0.63	0.62	0.64	0.89	4.54	0.30
	LT	1.08	0.74	0.66	0.62	0.78	0.71	4.59	0.31
	AVERAGE	1.00	0.79	0.65	0.62	0.71	0.80	4.57	0.30
#2	RT	0.60	0.70	0.59	0.50	0.46	0.58	3.43	0.23
	LT	0.88	0.58	0.51	0.50	0.56	0.74	3.77	0.25
	AVERAGE	0.74	0.64	0.55	0.50	0.51	0.66	3.60	0.24
#3	RT	0.38	0.35	0.29	0.29	0.44	0.44	2.19	0.15
	LT	0.39	0.46	0.45	0.29	0.30	0.31	2.19	0.15
	AVERAGE	0.38	0.40	0.37	0.29	0.37	0.38	2.19	0.15
Average (#1-#3)	RT	0.63	0.63	0.51	0.47	0.51	0.64	3.39	0.23
	LT	0.78	0.59	0.54	0.47	0.55	0.59	3.52	0.23
	AVERAGE	0.71	0.61	0.53	0.47	0.53	0.62	3.46	0.23

*1500 cGy was irradiated at point of maximum dose and 250 cGy was given equally by each arc.
Isocenter #1-#3 are located at midline of brain.

결 과

1. 수정체 선량

회전중심점 #1-#3 에서 각 arc 시 수정체에 흡수되는 평균선량은 Table 1 에 기술된 바와 같다. 각 수치는 3개의 TLD 칩을 판독한 평균값이다. 회전중심점 #1에서 수정체 선량은 좌우 및 평균이 각각 4.54cGy(0.30%)와 4.59cGy(0.31%), 4.57cGy(0.31%)이다. 각 arc 별로 0.62-1.08cGy(0.25-0.43%)의 선량을 보이며 우측 평균은 0.76±0.14cGy(0.30±0.06%), 좌측 평균은 0.77±0.16cGy(0.31±0.07%)이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 좌우측 모두 AXI 로 선량은 각각 0.92±0.14cGy(0.37±0.06%)와 1.08±0.29 cGy(0.43±0.12%)이다. 회전중심점 #2에서 수정체 선량은 좌우 및 평균이 각각 3.43cGy(0.23%)와 3.77 cGy(0.25%), 3.60cGy(0.24%)이고, 각 arc 별로 0.46-0.88cGy(0.18-0.35%)의 선량을 보이며 우측 평균은 0.57±0.08cGy(0.23±0.03%), 좌측 평균은 0.63±0.15cGy(0.25±0.06%)이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 L30, 좌측에선 AXI 로 선량은 각각 0.70±0.01cGy(0.28±0.01%) 와 0.88±0.18cGy(0.35±0.07%) 이다.

회전중심점 #3에서 좌우 수정체에 도달되는 총선량은 각각 2.19cGy(0.15%)로 동일하였고, 각 arc 별로 0.29-0.46cGy(0.12-0.18%)의 선량을 보이며 우측 평균 0.36±0.07cGy(0.15±0.03%), 좌측 평균 0.37±0.08cGy(0.15±0.03%)이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60과 R30, 좌측에선 L30 으로 선량은 각각 0.44±0cGy(0.18±0%) 와 0.46±0.01cGy(0.18±0%) 이다.

세 회전중심점에서의 평균 선량은 우측 3.39±1.18 cGy(0.23±0.09%), 좌측 3.52±1.22cGy(0.23±0.08%) 이다.

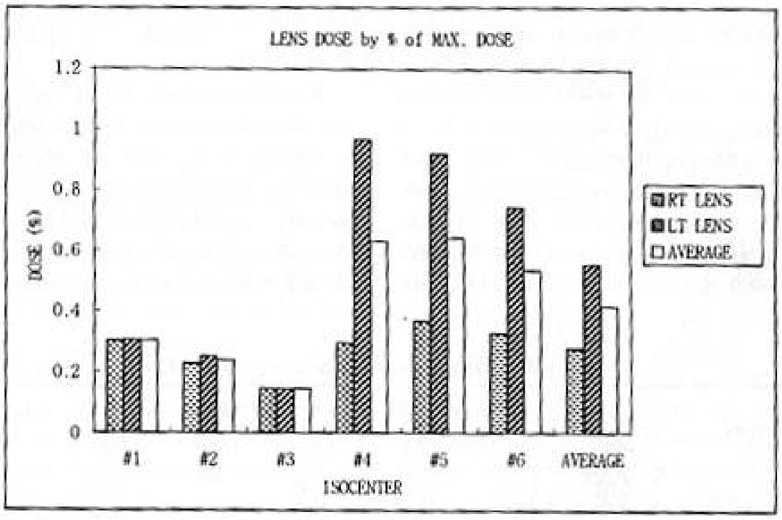
회전중심점 #4-#6 에서 각 arc 시 수정체에 흡수되는 평균선량은 Table 2 와 같다. 회전중심점 #4에서 수정체 선량은 좌우 및 평균이 각각 4.43cGy (0.30%)와 14.49cGy(0.97%), 9.46cGy(0.63%)이고, 각 arc 별로 0.38-11.04cGy(0.15-4.42%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.74±0.61cGy(0.30±0.24%), 좌측은 평균 2.41±4.24cGy(0.97±1.70%)이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R30, 좌측에선 L90 으로 선량은 각각 1.92±0.57cGy(0.77±0.23%) 와 11.04±1.03cGy(4.42±0.41%) 이다. L90 의 arc 에서 exit beam 이 좌측 수정체를 포함하지 않도록 치료계획을 세웠을 때의 좌측 수정체선량은 0.55±0.01 cGy(0.22±0%) 이다.

회전중심점 #5에서 수정체 선량은 좌우 및 평균이 각각 5.52cGy(0.37%)와 13.81cGy(0.92%), 9.66cGy (0.64%)이고, 각 arc 별로 0.34-10.93cGy(0.14-4.37 %)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.92±1.27cGy (0.37±0.51%), 좌측은 평균 2.30±4.24cGy(0.92±1.70%)이다. 가장 높은 선량을

Table 2. Lens Dose at Isocenter #4 - #6

Isocenter	Lens	Dose according to couch angle(cGy)						TOTAL	
		AXI	L30	L60	L90	R60	R30	dose	(%)
#4	RT	0.38	0.43	0.38	0.44	0.89	1.92	4.44	0.30
	LT	0.38	0.56	1.43	11.04	0.59	0.48	14.48	0.97
	AVERAGE	0.38	0.50	0.91	5.74	0.74	1.20	9.46	0.63
#5	RT	0.35	0.44	0.37	0.36	0.51	3.50	5.52	0.37
	LT	0.34	0.56	1.17	10.93	0.46	0.35	13.81	0.92
	AVERAGE	0.34	0.50	0.77	5.65	0.48	1.92	9.66	0.64
#6	RT	0.58	0.54	0.24	0.25	0.59	2.73	4.92	0.33
	LT	0.28	0.37	0.60	9.23	0.40	0.28	11.16	0.74
	AVERAGE	0.43	0.45	0.42	4.74	0.49	1.50	8.04	0.54
Average (#4-#6)	RT	0.44	0.47	0.33	0.35	0.66	2.72	4.96	0.33
	LT	0.33	0.5	1.07	10.4	0.48	0.37	13.15	0.88
	AVERAGE	0.39	0.49	0.70	5.38	0.57	1.55	9.06	0.60

*1500 cGy was irradiated at point of maximum dose and 250 cGy was given equally by each arc.
Isocenter #4 - #6 are located 28 mm apart form midline to left side. Exit beams pass through left lens at L90 of couch angle.



	#1	#2	#3	#4	#5	#6	AVERAGE
RT LENS	0.30	0.23	0.15	0.30	0.37	0.33	0.28
LT LENS	0.31	0.25	0.15	0.97	0.92	0.74	0.56
AVERAGE	0.30	0.24	0.15	0.63	0.64	0.54	0.42

Fig. 3. Lens dose by percentage of maximum dose according to each isocenter.

보인 arc 는 우측에선 R30, 좌측에선 L90 으로 선량은 각각 3.50±2.24 cGy(1.40±0.90%) 와 10.93±1.10cGy(4.37±0.44%) 이다. L90 의 arc 에서 exit beam 이 좌측 수정체를 포함하지 않도록 치료계획을 세웠을 때의 좌측 수정체선량은 0.59±0.01cGy(0.24±0%) 이다.

회전중심점 #6에서 수정체 선량은 좌우 및 평균이

각각 4.92cGy(0.33%)와 11.16cGy(0.74%), 8.04cGy (0.54%)이고, 각 arc 별로 0.24-9.23cGy(0.10-3.69%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.82±0.95cGy(0.33±0.38%), 좌측은 평균 1.86±3.64cGy(0.74±1.45%)이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R30, 좌측에선 L90 으로 선량은 각각 2.73±1.49cGy(1.09±0.06%) 와 9.23±0.21cGy(3.69±0.01%) 이다. L90 의 arc 에서 exit beam 이 좌측 수정체를 포함하지 않도록 치료계획을 세웠을 때의 좌측 수정체선량은 0.46±0.03cGy(0.18±0.01 %) 이다.

세 회전중심점에서의 평균 선량은 우측 4.96±0.54cGy(0.33±0.04%), 좌측 11.47±1.76cGy(0.76±0.12%) 이다.

Fig. 3 은 각 회전중심점 별로 최대선량점의 선량에 대한 수정체의 선량을 백분율로 나타낸 것으로서 회전중심점의 위치에 따른 선량의 변화를 보여주고 있다. 6 군데의 회전중심점을 대상으로 실험한 본 연구의 경우 좌우측 수정체의 평균 선량은 최대 선량의 0.42±0.29% 이며 최대 1% 미만이다.

2. 갑상선 선량

회전중심점 #1-#3 에서 각 arc 시 갑상선에 흡수되는 평균선량은 Table 3 과 같다. 회전중심점 #1에서 갑상선 선량은 좌우 및 평균이 각각 3.28cGy (0.22%) 와 3.00cGy(0.20%), 3.14cGy(0.21%)이고, 각 arc 별로 0.38-0.84cGy(0.15-0.34%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.55±0.16cGy(0.22±0.06%), 좌측은 평균 0.50±0.15cGy(0.20±0.07%) 이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60, 좌측에선 L60 으로 선량은 각각 0.75±0.26cGy(0.30±0.10%) 와 0.84±0.34cGy(0.34±0.14%)이다.

회전중심점 #2에서 갑상선 선량은 좌우 및 평균이 각각 2.95cGy(0.20%)와 2.96cGy(0.20%), 2.96cGy (0.20%)이고, 각 arc 별로 0.33-0.88cGy(0.13-0.35%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.49±0.22cGy(0.20±0.09%), 좌측은 평균 0.49±0.18cGy(0.20±0.07%) 이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60, 좌측에선 L60 으로 선량은 각각 0.88±0.31cGy(0.35±0.12%) 와 0.83±0.37cGy(0.33±0.15%)이다.

회전중심점 #3에서 갑상선 선량은 좌우 및 평균이 각각 1.76cGy(0.12%)와 1.88cGy(0.13%), 1.82cGy (0.12%)이고, 각 arc 별로 0.20-0.47cGy(0.08-0.19%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.29±0.08cGy(0.12±0.03%), 좌측은 평균 0.31±0.09cGy(0.13±0.04%) 이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60, 좌측에선 L60 으로 선량은 각각 0.37±0.12cGy(0.15±0.05%) 와 0.47±0.23cGy(0.19±0.09%)이다.

세 회전중심점에서의 평균 선량은 우측 2.66±0.80cGy(0.18±0.05%), 좌측 2.61±0.64cGy(0.18±0.05%) 이다.

Table 3. Thyroid Dose at Isocenter #1 - #3

Isocenter	Thyroid	Dose according to couch angle(cGy)						TOTAL dose	(%)
		AXI	L30	L60	L90	R60	R30		
#1	RT	0.62	0.42	0.42	0.69	0.75	0.38	3.28	0.22
	LT	0.43	0.38	0.84	0.53	0.41	0.42	3.00	0.20
	AVERAGE	0.52	0.40	0.63	0.61	0.58	0.40	3.14	0.21
#2	RT	0.33	0.37	0.42	0.60	0.88	0.35	2.95	0.20
	LT	0.44	0.37	0.83	0.55	0.42	0.36	2.96	0.20
	AVERAGE	0.38	0.37	0.62	0.58	0.65	0.35	2.96	0.20
#3	RT	0.20	0.25	0.29	0.41	0.37	0.24	1.76	0.12
	LT	0.26	0.25	0.47	0.39	0.27	0.24	1.88	0.13
	AVERAGE	0.23	0.25	0.38	0.40	0.32	0.24	1.82	0.12
Average (#1-#3)	RT	0.38	0.35	0.38	0.57	0.67	0.32	2.66	0.18
	LT	0.37	0.33	0.71	0.49	0.37	0.34	2.61	0.17
	AVERAGE	0.38	0.34	0.55	0.53	0.52	0.33	2.64	0.18

*1500cGy was irradiated at point of maximum dose and 250cGy was given equally by each arc.
Isocenter #1 - #3 are located at midline of brain.

Table 4. Thyroid Dose at Isocenter #4 - #6

Isocenter	Thyroid	Dose according to couch angle(cGy)						TOTAL	
		AXI	L30	L60	L90	R60	R30	dose	(%)
#4	RT	0.28	0.34	0.22	0.23	0.46	0.25	1.78	0.12
	LT	0.37	0.24	0.30	4.49	0.24	0.26	5.90	0.39
	AVERAGE	0.32	0.29	0.26	2.36	0.35	0.26	3.84	0.26
#5	RT	0.26	0.43	0.30	0.35	0.53	0.25	2.13	0.14
	LT	0.30	0.37	0.37	5.21	0.28	0.27	6.80	0.45
	AVERAGE	0.28	0.40	0.34	2.78	0.40	0.26	4.46	0.30
#6	RT	0.22	0.30	0.21	0.25	0.49	0.24	1.71	0.11
	LT	0.23	0.23	0.29	4.28	0.27	0.25	5.56	0.37
	AVERAGE	0.22	0.27	0.25	2.27	0.38	0.24	3.63	0.24
Average (#4-#6)	RT	0.25	0.36	0.24	0.28	0.50	0.25	1.87	0.12
	LT	0.30	0.28	0.32	4.66	0.26	0.26	6.08	0.41
	AVERAGE	0.28	0.32	0.28	2.47	0.38	0.26	3.98	0.27

*1500cGy was irradiated at point of maximum dose and 250cGy was given equally by each arc.
Isocenter #4 - #6 are located 28 mm apart form midline to left side. Exit beams pass through left thyroid at L90 of couch angle.

회전중심점 #4-#6 에서 각 arc 시 갑상선에 흡수되는 평균선량은 Table 4 와 같다. 회전중심점 #4에서 갑상선 선량은 좌우 및 평균이 각각 1.78cGy (0.12%)와 5.64cGy(0.38%), 3.71cGy(0.25%)이고, 각 arc 별로 0.22-4.49cGy(0.09-1.80%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.30±0.09cGy(0.12±0.04%), 좌측은 평균 0.98±1.72cGy(0.39±0.69%) 이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60, 좌측에선 L90 으로 선량은 각각 0.46±0.23cGy(0.19±0.09%) 와 4.49±0.54cGy(1.80±0.21%) 이다.

회전중심점 #5에서 갑상선 선량은 좌우 및 평균이 각각 2.13cGy(0.14%)와 6.80c Gy(0.45%), 4.46cGy (0.30%)이고, 각 arc 별로 0.25-5.21cGy(0.10-2.08%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.35±0.11cGy(0.14±0.04%), 좌측은 평균 1.13±2.00cGy(0.45±0.80%) 이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60, 좌측에선 L90 으로 선량은 각각 0.49±0.20cGy(0.20±0.08%) 와 5.21±0.21cGy(2.09±0.09%)이다.

회전중심점 #6에서 갑상선 선량은 좌우 및 평균이 각각 1.70cGy(0.11%)와 5.56cGy(0.37%), 3.63cGy (0.24%)이고, 각 arc 별로 0.21-4.28cGy(0.08-1.71%)의 선량을 보이며, 우측은 평균 0.28±0.11cGy(0.11±0.04%), 좌측은 평균 0.93±1.64cGy(0.37±0.66%) 이다. 가장 높은 선량을 보인 arc 는 우측에선 R60, 좌측에선 L90 으로 선량은 각각 0.49±0.22cGy (0.20±0.09%) 와 4.28±0.27cGy(1.71±0.11%) 이다.

세 회전중심점에서의 평균 선량은 우측 1.87±0.23 cGy(0.12±0.02%), 좌측 6.08±0.64cGy(0.41±0.04%) 이다.

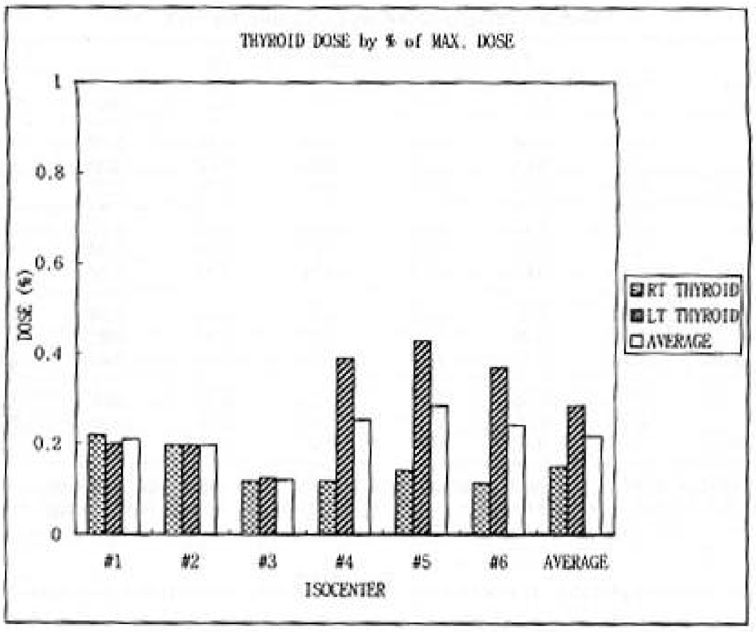
Fig. 4 는 각 회전중심점 별로 최대선량점의 선량에 대한 갑상선의 선량을 백분율로 나타내 것으로서 회전중심점의 위치에 따른 선량의 변화를 보여주고 있다. 6 군데의 회전중심점을 대상으로 실험한 본 연구의 경우 좌우측 갑상선의 평균 선량은 최대 선량의 0.22±0.11% 이며 최대 0.5% 미만이다.

3. 표면 및 심부 선량

couch 각도 L90 으로 고정된 상태에서 회전중심점 #1 과 #4 에서 각각 표면과 5 mm 깊이의 선량은 Table 5 와 같이 차이를 나타내지 않았다.

고 찰

정위방사선수술은 많은 젊은 환자의 양성 뇌 병변의 치료에 빈번히 이용되고 있다. 이들의 생존율 및 생존기간은 상대적으로 양호하며, 치료 목표 부위 이외의 방사선에 민감한 장기에 흡수되는 산란 및 누출 선량은 방사선의 체성 및 유전적 효과때문에 항상 관심의 대상이다. 장기에 흡수되는 선량은 목표 부위에 조사되는 일차 방사선 및 체내에서 생성된 산란방사선과 x-ray target 이나 코발트 선원을 둘러싸고 있는 차폐물을 통과한 누출방사선으로부터 각각 기인된다. 선



	#1	#2	#3	#4	#5	#6	AVERAGE
RT THYROID	0.22	0.20	0.12	0.12	0.14	0.11	0.15
LT THYROID	0.20	0.20	0.13	0.39	0.45	0.37	0.29
AVERAGE	0.21	0.20	0.12	0.25	0.30	0.24	0.22

Fig. 4. Thyroid dose by percentage of maximum dose according to each isocenter.

Table 5. Effect of Depth on the Absorbed Dose at the Upper Eyelid and the Thyroid Area Measured by TLD in the Humanoid Phantom

		Percent of maximum dose			
		Eyelid		Thyroid	
Isocenter	Location of TLD	Rt	Lt	Rt	Lt
#1	surface	0.25±0.02	0.25±0.02	0.28±0.12	0.21±0.06
	5 mm depth	0.26±0.02	0.25±0.02	0.26±0.03	0.20±0.02
#4	surface	0.17±0.01	4.42±0.41	0.09±0.01	1.80±0.21
	5 mm depth	0.18±0.02	4.38±0.40	0.09±0.01	1.77±0.16

형가속기나 코발트치료기에 의한 산란 및 누출 선량은

매우 비슷한 측정치를 나타내고 있으며, 현재까지 발표된 megavoltage 에너지의 정위방사선수술시 수정체와 갑상선에 기여하는 방사선량은 Table 6 과 같다. 이들 자료에서는 일반적인 정위방사선수술시 수정체 및 갑상선 선량만을 알 수 있을 따름이며, 치료부위의 위치에 따른 선량의 변화나 각 arc 에 따라 좌우 수정체 및 갑상선에 미치는 선량의 변화를 세분화하여 알기 어렵다.

본 실험의 선량측정시 사용되었던 TLD 는 가장 보편적으로 쓰이고 있는 선량측정계의 일종으로 파우더, 튜브, 칩 등 여러 가지의 형태로 제작되어질 수 있어 어느 장소에나 위치시키기에 편리하며, 특히 조사시설 내 케이블과 연결장치가 없어 실험시 간편한 장점이 있다.[12] 또한 에너지와 선량에 대한 의존성이 적으며

Table 6. Doses of Lens and Thyroid from Stereotactic Radiosurgery in the Literature

Author	Facility	Detector	Dose(% by max. dose)		
			Lens	Thyroid	
Walton(1987)	^{60}Co unit	Diode	—	0.26	1 patient
Chierego(1988)	L. A.*	TLD	0.08	0.17	phantom
Podgorsak(1988)	L. A.	TLD	2.5†	0.2	phantom
Berk(1993)	^{60}Co unit	TLD	0.26‡	0.43‡	111 patients

*Linear accelerator
†Dose when the beam of dynamic stereotactic radiosurgery passes through the eyes
‡The dose absorbed in lens and thyroid were 9±8 cGy and 15±7 cGy when the average maximum target absorbed dose was 35±8 Gy.

[13-16)] 선량-반응의 직진성이 mrad 의 저선량에서부터 10^3 rad 의 고선량의 범위에서 뛰어나[17-19)] 이 실험에 적합하다고 생각되었다. 그러나 열형광선량계는 방사선량 측정후 복잡한 판독 과정을 거쳐야 하며, 많은 시간이 소요되는 한편 측정치의 오차범위가 5% 이내로[20)] 매우 정확한 절대 선량을 구하는 데에는 한계가 있다.

회전중심점 #1-#3 은 뇌의 중앙에 위치한 점으로서 각각 뇌하수체와 뇌간, 소뇌충부에 위치한 종양을 대표하며, 이는 실제 임상적으로 뇌하수체 종양이나 뇌간종양, 소아의 소뇌충부에 많이 생기는 수모세포종 또는 모낭성 성상세포종에 해당하는 경우로 치료계획시 많이 접하게 되

는 질환이다. 뇌의 중앙에 위치한 관계로 좌우 장기의 선량이 대칭적으로 나타나게 되어 병변의 앞뒤 위치변화와 couch 각도에 따른 선량의 변화를 관찰하기에 매우 적합한 경우라고 생각되어진다. 본 실험에서는 회전중심점 #1-#3 의 좌우 선량의 차이가 수정체와 갑상선 모두 목표부위의 최대 선량치에 비해 평균 0.01% 정도밖에 안돼 매우 대칭적인 선량 분포를 보이고 있다. 회전중심점이 뒤쪽으로 위치할수록 수정체와 갑상선의 선량이 떨어지는 것은 치료부위와 선량측정위치의 거리관계를 대변하는 것으로서 같은 중앙선에 위치하고 있더라도 조사선이 측정위치를 직접적으로 통과하지 않는 한 약 2배의 차이를 보여 치료부위의 위치에 따른 수정체와 갑상선의 선량변화를 잘 나타내고 있다. couch 각도에 따른 선량의 변화는 우선 각 회전중심점에서 모두 수정체와 갑상선을 조사선이 직접 통과하지 않은 것을 확인 할 수 있었으며, couch 각도에 따른 선량변화가 일정한 경향이 있는 것을 알 수 있었다. 이는 세 회전중심점의 couch 각도별 선량을 모두 합한 평균(Table 1, 3)에서 더욱 뚜렷하게 알 수 있다. 수정체 선량은 평균적으로 AXI 에서 가장 높은 값을 나타내고 R30 이나 L30, R60 이나 L60, 그리고 L90 순이었다. 이는 각 couch 각도에 의한 arc 의 단면과 양측 수정체를 지나는 선이 이루는 각도가 크면 클수록 수정체선량이 떨어지는 것을 잘 보여주고 있다. couch 각도 별로 최대 1.5배의 선량 차이가 날 수 있음을 알 수 있다. 갑상선의 경우는 수정체와는 달리 axial plane 간의 거리가 멀리 떨어져 있는 관계로 couch 각도가 R60 이나 L60 일 때 갑상선과 arc 가 이루는 단면이 가장 가까이 접하게 된다. 그러므로 우측 갑상선의 경우 R60 에서 가장 높은 선량을 나타내고, L90, L60 순으로 낮아지는 반면 좌측 갑상선은 L60 에서 가장 높은 선량을 나타내고, L90, R60 순으로 낮아지게 된다. couch 각도 별로 최대 2.2배의 선량 차이가 날 수 있음을 알 수 있다.

회전중심점 #4-#6 은 회전중심점 #1-#3 과는 달리 뇌의 좌우 중심선으로부터 수평으로 28mm 좌측으로 떨어진 선상 위에 위치한 점들이다. 주로 대뇌반구에 발생하는 종양들에 대한 모델로서 선정되었다. 좌측 수정체의 중심과 좌측 갑상선의 내엽 역시 중앙으로부터 약 30mm 정도 떨어져 있기 때문에 couch 각도 L90 에서 exit beam 이 수정체와 갑상선을 지나는 것을 기본으로 치료계획이 이루어졌다. 우측 수정체와 우측 갑상선은 조사선이 직접 통과하는 경우는 없었다. 이 세 회전중심점의 실험은 병변이 한 쪽 대뇌에 치우쳐 있을 때 편측과 반대측의 각 장기선량이 다를 것으로 예상되었던 바, 그 차이정도와 함께 치료부위의 위치와 couch 각도에 따른 선량분포의 변화가 회전중심점 #1-#3 과는 좋은 대조를 이루고 있다. 우선 치료위치에 따른 좌우 장기의 선량 차이를 살펴보면 수정체의 경우 좌측이 우측에 비해 2-3배 높은 선량이 들어가는 것을 알 수 있고, 그 차이는 치료위치가 전면 쪽으로 위치할수록 더 크다. 갑상선의 경우 좌측 갑상선이 우측 갑상선에 비해 일률적으로 3.2배 가량 높은

선량이 들어가 수정체에 비해 치료위치에 따른 좌우 선량차이의 변화가 심하지 않음을 알 수 있었다. 치료위치에 따른 좌우 수정체와 갑상선의 선량변화를 검토한 결과 좌측 수정체의 경우 회전중심점 #4 부터 #5, #6 의 높은 선량 순으로 나타났고, 우측 수정체는 회전중심점 #5, #4, #6 의 높은 선량 순으로 나왔다. 이는 좌측 수정체의 경우 선량의 80% 전후를 차지하는 L90 의 arc 에 의해 선량이 결정되고 이 때의 선량은 오로지 치료위치와 좌측 수정체와의 거리에 의해서 좌우되기 때문이고, 우측 수정체의 경우는 모든 arc 가 직접적으로 수정체를 지나지 않기 때문에 각 arc 가 이루는 단면과 우측 수정체의 근접정도에 따라 선량이 좌우되며, 반드시 치료위치와 우측 수정체와의 거리에 비례하지 않기 때문이다. 갑상선의 경우는 좌우 갑상선 모두 회전중심점 #5, #4, #6 의 높은 선량 순으로 나타났는데, 이는 역시 좌측 갑상선의 경우 회전중심점 #5 가 가장 근접한 것이기 때문으로 생각된다. 각 회전중심점 별로 couch 각도에 따른 선량변화의 일정한 경향을 엿볼 수 있는데 이는 역시 세 회전중심점의 couch 각도별 선량을 모두 합하여 평균(Table 2, 4)을 살펴보면 잘 나타난다. 좌측 수정체는 예측대로 couch 각도 L90 에서 전체 선량의 76-83% 의 높은 선량을 기여했고, L60, R60, L30, R30, AXI 의 순으로 나타났으며 이는 각 arc 의 단면과 좌측 수정체와의 거리를 잘 반영한 결과이다. 이 때 L60, L30 이 각각 R60, R30 보다 높은 선량을 보이는 이유는 좌측 수정체의 중심이 L90 arc 단면에 비해 2mm 좌측으로 위치해 있기 때문으로 풀이된다. 우측 수정체의 경우 역시 R30 에서 가장 높은 선량을 나타내었다. 갑상선에서는 좌우측 각각 L90, R60 의 arc 에서 가장 높은 선량을 나타내었으며 좌측 갑상선 선량의 77-80% 는 L90 arc 의 선량에 의해 기인되었다.

수정체와 갑상선 선량에 영향을 미칠 것으로 생각되는 인자로는 치료부위의 위치와 couch 각도 이외에도 보조 콜리메이터의 크기, arc 의 각도 및 범위 등이 있을 수 있다. 보조 콜리메이터 크기에 따른 선량변화는 팬텀 및 콜리메이터 산란인자의 변화이고 이 인자의 변화는 20mm 크기를 기준으로 할 때 10% 이내이며[21] 실제 팬텀 실험상에서도 전혀 차이가 없었다.[11] arc 의 각도 및 범위에 따른 선량변화는 추후 실험이 필요하다고 생각된다.

임상적으로 수정체와 갑상선 선량을 측정하려할 때 조직내 TLD 칩을 심기에는 어려움이 있는 관계로 실제로는 표면 위에 TLD 칩을 얹어 놓는다. 이 때 표면위의 TLD 선량과 실제 조직내의 선량에 대해서는 조직내 선량이 다소 높다고 주장하는 견해와[22] 차이가 없다고 주장하는 견해가[11] 있으나, 본 실험에서는 전반적으로 그 차이가 관찰되지 않아 이는 실제 차이가 없을 수도 있을 것이고, 또는 TLD 의 오차에 의해 미세한 차이가 가려질 수도 있었을 것이다. 하지만 이러한 차이는 실험에 의하여 나오는 측정 선량에 비하여 매우 적은 수치로서 표면에 TLD 칩을 위치시켜 측정하는 방법론이 대체로 조직내의 선량을 잘 반영하는 것으로 해석하여도 무리가 없을 것으로 생각된다.

수정체는 방사선에 민감한 장기 중 하나로서 저선량의 방사선으로도 백내장이 빈번한 발생하여 방사선 치료시 항상 주의의 대상이 되어왔다. 저선량의 방사선은 수정체 equator 의 germinal zone의 상피세포에 주로 손상을 주어 후측의 작은 점으로서 이상이 나타나게 된다.[23] 이러한 병변이 커지면서 전측으로 진행되어 결국 cortex 는 혼탁해 진다. Merriam 등은[24] 최소 200cGy 선량의 단일조사를 시행후 백내장이 발생되었으나 실제 임상적으로는 400 내지 500cGy 이상의 선량부터 의미 있게 관찰되었다. 분할조사의 경우 750-950cGy 의 선량에서 60%의 발생률이고 1150cGy 이상에선 100% 로 보고하였다. 조사후 백내장 발생까지의 기간은 6개월에서 35년(평균 2-3년)까지로 다양한 것으로 알려져 있다. 백내장의 발생은 전신 조사의 경우 많이 보고되고 있으며 Deeg 등은[25] 1000cGy 의 단일 방사선량시 80% 로 보고하였으나 1200-1500cGy 의 분할방사선량에서는 19% 로 보고하였다. 소아의 경우는 성인에 비해 확실히 더 민감하여 백내장발생까지의 잠복기도 짧을 뿐만이 아니라 조사된 선량에 대해 백내장의 발생빈도도 더 높을 것으로 보여진다.[26] 본 실험에서의 수정체에 흡수되는 선량은 exit beam 이 수정체를 통과한다 할지라도 10cGy 이내의 저선량으로 백내장이 발생할 단일 선량의 역치인 200cGy 에 비해 현저히 떨어지므로 안전하다고 판단되어진다. 그러므로 방사선치료계획시 가능한 한 수정체에 미치는 선량을 낮출 노력은 하더라도 수정체를 피하기 위한 무리한 정위방사선수술의 치료계획수립은 지양해야 할 것으로 판단된다.

갑상선 또한 방사선에 민감한 장기로서 치료계획시 많은 주의를 하는 수정체와는 달리 상대적으로 소외되어 왔다. 방사선으로 인해 갑상선의 암 발생률이 매우 드물고, 또한 CT나 MRI 촬영 때 갑상선의 부위가 제외되어 치료계획시 갑상선의 포함 유무를 확인하기 어려운 것도 하나의 이유라고 생각된다. 역사적으로 방사선으로 인한 갑상선 암에 대한 많은 연구가 보고되었다. 1930-40년대에 많은 어린아이들이 흉선비대로

인하여 방사선치료를 받았으며 그중 1세 미만의 영아 2,872명에 대한 역학조사[27]에서 갑상선 암의 발생이 기대치 0.29 대 관찰치 24로 상대비를 3.1로 보고하였다. 당시 조사된 평균선량은 119cGy 이고 위험율은 106 person year(PY)cGy 당 5명이었다. scalp의 tinea capitis 환아에서 방사선 치료를 받은 10,842 명을 대상으로한 연구에서도 기대값 5명에 비해 실제 23명으로 보고하였다.[28-30] 이때의 갑상선 선량은 평균 9cGy 이었으며, 위험율은 8.3명/106 PY- cGy 로 평가되었다. 또한 편도선과 비인강의 질환의 치료로 방사선을 조사한 5,266명의 소아환자를 대상으로 한 보고에서는 갑상선 평균선량은 790cGy 이며, 갑상선 암 발생 위험율은 5명/10^6 PY-cGy 이었다.[31, 32] 방사선에 의해 유발된 갑상선 종양에 대해 잘 연구되어진 보고서 중의 하나로 1954년 원자폭탄실험으로 인한 마샬 군도의 방사성 낙진에 의한 원주민들의 정기적 의료검진 자료가 있다.[33] 갑상선 선량은 소아는 700-1400cGy, 성인은 335cGy로 평가되었으며, 23년의 관찰기간동안 결절 발생 위험율은 14- 29명/106 PY-cGy 이고 암발생 위험율은 3.5-10.4명/106 PY-cGy 이었다. 이와 같이 방사선에 의해 갑상선 암이 유발되는 많은 보고들이 있으나 대부분의 경우 고선량을 대상으로 한 것으로서 저선량에 대한 정확한 평가를 내리기에는 아직 객관적인 자료가 부족한 실정이다. 그러므로 대개의 경우 저선량에서의 인체에 대한 영향을 추정하기 위해서는 고선량으로부터 유추하여 나온 결과를 인용하게 되는데 일반적으로 상향평가되는 경향이 있다. 실제 Shore 등에[34] 의한 갑상선 암의 분석결과 5-1000cGy 의 범위에서 곡선의 선량-반응 관계를 나타내어 저선량의 위험율은 고선량으로부터 직선외삽법에 의해 추정되어지는 수치보다 2배 내지 3배 낮은 것으로 나타났다. 이번 실험으로부터 얻어진 갑상선의 선량은 7cGy 이하의 저선량으로서 비교적 매우 낮은 수치이며 이는 치료계획에 따라 더 많은 선량이 들어갈 수 있다 할지라도 정위방사선수술로 얻는 이득에 비하여서는 받아들여질 수 있는 위험율이라고 판단되어진다. 그러나 방사선의 확률적 효과의 방어 기본인 “as low as reasonably achievable” 의 개념아래 가능한 한, 특히 소아환자에 있어선, 갑상선의 선량을 낮추도록 치료계획을 세워야 하겠다.

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, Rexed B, et al.** The high energy proton beam as a neurosurgical tool. Nature 1958; 182:1222-1223
3. **Kjellberg RN, Kliman B.** Bragg peak proton hypophysectomy for hyperpituitarism, induced hypopituitarism, and neoplasm. Progress of Neurological Surgery 1975; 6:295-325
4. **Kjellberg RN, Shintani A, Frantz AG, et al.** Proton beam therapy in acromegaly. N Engl J Med 1968; 278:689-695
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. **Walton L, Bomford CK, Ramsdem D.** The Sheffield stereotactic radiosurgery unit: physical characteristics and principles of operation. Br J Radiol 1987; 60:897-906
8. **Pogdorsak EB, Olivier A, Pla M, et al.** Dynamic stereotactic radiosurgery. Int J Radiot Oncol Biol Phys 1988; 14:115-125
9. **Pogdorsak EB, Picke B, Pla M, et al.** Radiosurgery with photon beams: physical aspect and adequacy of linear accelerators. Radiother Oncol 1990; 17:349-358
10. **Chierego G, Marchetti C, Avanzo RC, et al.** Dosimetric considerations on multiple arc stereotactic radiotherapy. Radiother Oncol 1988; 12:141- 152
11. **Berk HW, Larner JM, Spaulding C, et al.** Extercranial absorbed doses with Gammma Knife radiosurgery. Stereotact Funct Neurosurg 1993; 61(suppl):164-172
12. **Kron T.** Thermoluminescence dosimetry and its applications in medicine-Part 1:Physics, material and equipment. Australasian Phys Engineer Scien Med 1994; 17:175-99
13. **Suntharalingam N, Cameron JR.** Thermoluminescent response of lithium fluoride to high energy electrons. Ann N Y Acad Sci 1969; 77:161
14. **McCall RC, Fix RC.** A sensitivity LiF dosimeter for routine beta and gamma personnel monitoring. Health Phys 1964; 10:602
15. **Karzmark CJ.** Lithium fluoride thermoluminescence dosimetry. Phys Med Biol 1964; 9:273
16. **Tochilin E, Goldstein N.** Dose-rate and spectral measurements from pulsed x-ray generators. Health Phys 1966; 12:1705
17. **Spanne P.** TL dosimetry in the μ Gy range. Acta Radiol 1979; 360(suppl):1
18. **Niewiadomski T.** Comparative investigations of characteristics of various TL dosimeters. II. Low dose measurements. Nukleonika 1976; 21:1097
19. **Khan FM.** The physics of radiation therapy. 2nd ed. Baltimore; William & Wilkins, 1994; 167-172

20. **Kirby TH, Hanson WF, Johnston DA.** Uncertainty analysis od absorbed dose calculations from thermoluminescence dosimeters. Med Phys 1992; 19:1427-1433
21. **박찬일, 하성환, 김일한 등. 선형가속기를 이용한 서울대학교 병원형 뇌정위적 방사선수술 시스템의 개발.** 1991년도 서울대학교병원 대형공동과제연구 최종보고서 1995
22. **Podgorsak EB.** Physics for radiosurgery with linear accelerators. Neurosurg Clin North America 1992; 3:9-34
23. **Merriam GR, Worgul BV.** Experimental radiation cataract: Its clinical relevance. Bull NY Acad Med 1983; 59:372-292
24. **Merriam GR, Focht EF.** Clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. Am J Radiol 1957; 77:759-785
25. **Deeg HJ, Flounoy N, Sullivan K, et al.** Cataracts after total body irradiation and marrow transplant. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1984; 10:957- 964
26. **Moss WT.** The orbit. In: Cox JD, ed. Moss' Radiation Oncology. 7th ed. Missouri; Mosby-Year Book. 1994; 246-259
27. **Hempelmann LH, Hall WJ, Phillips M, et al.** Neoplasms treated with X-ray in infancy: Fourth survey in 20 years. J Natl Cancer Inst 1975; 55:519-530
28. **Modan B, Baidatz D, Mart H, et al.** Radiation-induced head and neck tumours. Lacet 1974; 1:277-279
29. **Modan B, Ron E, Werner A.** Thyroid cancer following scalp irradiation. Raiology 1977; 123:741-744
30. **Ron E, Modan B.** Benign and malignant thyroid neoplasms at childhood irradiation for tinea capitis. J Natl Cancer Inst 1972; 175:200-202
31. **Favus MJ, Schneider AB, Stachura ME, et al.** Thyroid cancer occurring as a late consequence of head and neck irradiation. Evaluation of 1056 patients. N Engl J Med 1976; 294:1019-1025
32. **Schneider AB, Favus MJ, Stachura ME, et al.** Incidence, prevalence and characteristics of radiation-induced thyroid tumors. Am J Med 1978; 64:243-252
33. **Conard RA.** Summary fo thyroid findings in Marshallese 22 year: after exposure to radioactive fallout. In: DeGroot LJ, ed. Radiation-Associated Thyroid Carcinoma. New York; Grune & Stratton, 1977; 241-257
34. **Shore RE, Woodard ED, Pasternack BS, et al.** Radiation and host factors in human thyroid tumors following thymus irradiation. Health Phys 1980; 38:451-465

— J. Korean Soc Ther Radiol Oncol : Vol. 16, No. 4, December, 1998 —

= 국문 초록 =

선형가속기형 방사선수술시 인형 팬톰에서 수정체 및 갑상선 선량

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 치료방사선과*

서울대학교 의과대학 치료방사선과학교실†, 서울대학교 의학연구원 방사선의학연구소‡

김 대 용*† · 김 일 한†‡

목 적 : 정위방사선수술은 뇌동정맥기형 및 청신경초종, 뇌수막종양, 뇌하수체종양 뿐만 아니라 단일 전이성 종양의 치료에 있어서도 최근 그 이용의 빈도가 급격히 늘어나는 추세이다. 그에 따라 목표부위에 있어서 정위방사선수술의 선량분포에 관한 연구는 많이 발표되고 있으나 두개강 외의 수정체, 갑상선과 같이 방사선의 결정적 또는 확률적 효과에 민감한 장기와 같은 조직에서 흡수되는 선량에 관한 자료는 극히 제한적이다. 본 연구는 인체모형에서 방사선수술시 수정체 및 갑상선의 선량을 측정하고 그 선량에 영향을 미치는 변수를 규명하고자 하였다.

대상 및 방법 : 6 곳의 상이한 회전중심점에서 각각 서울대학교 의과대학 치료방사선과학교실에서 개발한 선형가속기형 정위방사선수술 기법을 이용하여 치료계획을 세웠다. 각 회전중심점당 6개의 arc 를 기본으로 하고 각 arc의 범위는 100도를 기준으로 하고 보조콜리메이터 크기는 직경 2cm 로 선정하였다. 각 arc 별로 최대선량 250cGy 조사한 후 내회 열형광선량계를 이용하여 수정체 및 갑상선의 표면에 미치는 선량을 측정하였다.

결 과 : 회전중심점 또는 arc plane 이 각 장기와 가까울수록 흡수 선량이 높았다. exit beam 이 수정체나 갑상선을 지나지 않을 경우 각 장기의 선량은 최대선량의 0.23±0.08% 와 0.18±0.05% 이고, exit beam 이 수정체나 갑상선을 지나는 경우 각 장기의 선량은 최대선량의 0.76±0.12% 와 0.41±0.04% 이다. exit beam 의 통과 여부가 각 장기의 선량에 미치는 가장 큰 인자이며, 장기를 통과하는 arc 에 의해 흡수하는 선량은 총 선량의 80% 를 차지한다. 인체모형의 표면선량과 5mm 깊이에서의 선량에 큰 차이가 없어 표면선량을 수정체 및 갑상선 선량으로 대체할 수 있다고 판단한다.

결 론 : 정위방사선수술시 인체모형의 수정체와 갑상선에 흡수되는 방사선량을 측정한 결과 회전중심점 및 arc plane 이 각 장기와 가까울수록 높은 흡수 선량을 나타내었으며, exit beam 이 수정체나 갑상선을 통과하는 경우 흡수선량이 높았고 exit beam 의 통과 여부가 각 장기의 흡수선량에 가장 큰 영향을 미쳤다. 또한 수정체와 갑상선의 표면선량은 수정체 및 갑상선 선량과 큰 차이가 없었다. 최적의 방사선수술을 위한 계획을 수립할 경우 각 장기의 선량은 최대 1% 미만으로 후유증을 일으키기에 낮은 선량이기는 하나, 특히 소아 등에서는 갑상선 선량을 가능한 낮추어야 할 것이다.