

선형가속기를 이용한 뇌정위 방사선수술시 Isocentric sub system의 기하학적 오차

연세대학교 원주의과대학 원주기독병원 치료방사선과

이석춘 · 오종영 · 김남석

목적 : 뇌정위 방사선수술은 AVM(arteriovenous malformation)이나 작은 크기의 종양에 1회에 고선량의 방사선을 조사하는 기술이다. 선형가속기를 이용한 방사선 수술을 하기 위하여 최근 본원에 설치한 Philips SL 75-5 선형가속기와 isocentric sub system(ISS)에 의한 뇌정위 방사선 수술에 있어서 표적의 위치선정과, gantry와 couch의 회전시 기하학적 오차가 중요시 되는데 isocentric sub system의 오차를 분석 하였다.

대상 및 방법 : 방사선원으로는 Philips SL 75-5 선형가속기의 5MV 광자선을 사용하였고, 원형의 작은 광자선속을 위하여 isocenter에서의 직경이 26mm인 secondary cone를 gimbal bearing에 삽입하여 사용하였다. 표적의 크기와 좌표를 정하기 위하여 CT나 angio localizer를 이용하고, 표적좌표 선정을 위하여 BRW phantom base와 target pointer를 이용하여 임의의 BRW-coordinator를 바꾸어 가면서 gantry angle와 ISS head 각도를 임의로 바꾸어 가면서 film에 방사선을 조사하였다. 흑화된 film을 view box 위에 놓고 광학판독기구로 film 가장자리의 오차를 scale 확대경으로 측정하여 오차를 분석 하였다.

결과 : 표적좌표 선정의 정확도를 확인하기 위하여 임의의 표적좌표에 gantry의 10개각도 ISShead의 10개각도에서 각각 광자선을 조사시켜 film을 이용하여 오차를 측정한 결과 collimator cone의 직경이 26mm일때 전체 평균오차가 $0.219 \pm 0.03\text{mm}$ 이었다.

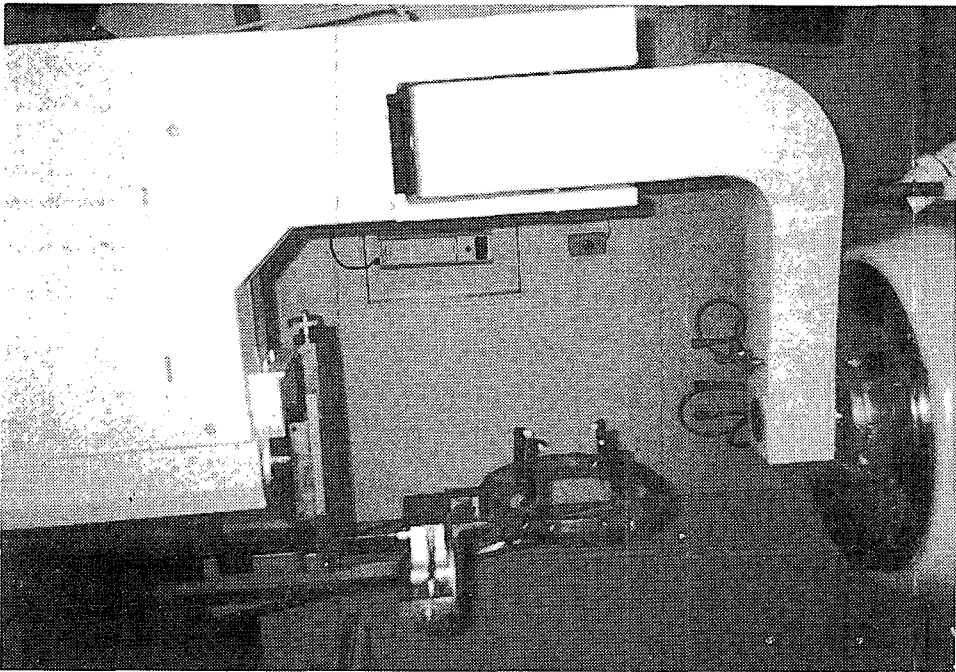
결론 : Isocentric sub system은 gantry head와 ISS arm 사이에 gimbal bearing이 있어서 이 부위를 flexible하게 연결함으로 gantry의 회전에 무관하게 정확한 isocenter를 유지시켜 주고 ISS head는 couch와 독립되어 움직이므로 isocentric sub system isocenter의 오차를 최대한 줄일수 있음을 알았다.

I . 서 론

뇌정위 방사선 수술은 뇌 속의 작은 병소 부위에 고선량의 방사선을 집중 조사하는 방법으로서, 병소 주위의 정상 뇌조직에는 손상을 최소화하기 위하여 기계적으로 높은 정확도를 필요로 한다.¹⁾ 뇌

정위 방사선 수술의 방법으로는 Co-60을 이용한 감마 나이프와 입자가속기에 의한 하전입자를 이용한 방법과 선형 가속기에 의한 x-ray를 이용한 방법이 있다. 감마 나이프나 입자가속기는 선형 가속기에 비해 설치 비용등이 비싼 반면, 뇌정위 방사선 수술의 일정을 잘 조정하여 일반적인 방사선 치료도 할 수 있어 경제적으로 이득이 있는 선형 가속기를 이용한 뇌정위 방사선 수술을 최근 선호하는 경향이 있다. 그러나 선형 가속기를 이용한 방사선 수술은 작은 병소부위에 방사선을 집중시키기 위하여 gantry를 회전시켜 회전 조사 시키며 또한 couch의 각도를 바꾸어 또다른 회전 조사 시키므로써 발생하는 gantry나couch의 회전 오차 때문에 다른 방사선 수술 방법보다 기하학적 오차가 큰 단점이 있다. 따라서 이 오차를 줄이기 위한 많은 연구들이 이루어져 여러가지 형태의 뇌정위 방사선 수술을 위한 도구들이 개발되고 있다.

기존의 Linac을 이용한 방사선 수술의 도구로는 gantry에 secondary collimator를 부착하고, couch에 head frame을 부착시키는 장치가 있으나 이는 gantry나 couch 회전시 기계적인 오차(1mm)가 크므로 최근에는 gantry나 couch의 회전에는 무관한 floor stand 방식이 개발되었다. 따라서 본원에 최근 설치한 floor stand 방식의 ISS(isocentric sub system)에 대한 기하학적 오차에 대하여 살펴보았다.

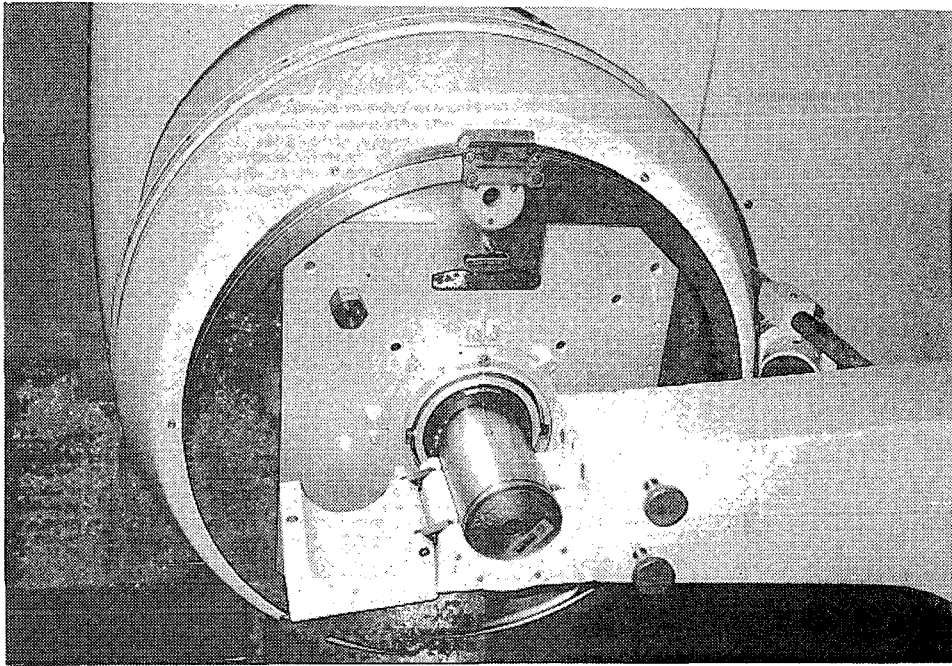


〈그림 1〉 Isocentric sub system.

II. 대상 및 방법

방사 선원으로는 Philips SL 75-5 선형 가속기의 5MV 광자선을 사용하였고 SRS-200 system으로는 ISS(isocentric sub system)가 있다. ISS는 arm, body head로 나뉘는데 ISS arm은 Gantry head에 beam축에 수직으로 Gimbal bearing이 나사로 고정되고 Gimbal bearing 중심부에 collimator cone을 삽입하여 gantry head와 ISS arm이 연결되며 ISS body는 gantry 아래 바닥의 일정한 지점의 2개의 구멍에 고정하여 사용하고 바닥의 한 부위의 바닥의 수평면에 놓인다. ISS head는 couch table처럼 180도 회전는 가능하고 소폭의 전후 좌우 상하 방향의 이동이 가능하고 환자의 병소좌표를 맞출 수 있는 눈금이 있고 그 위에 환자의 머리를 고정시킬 수 있는 BRW-head ring이 부착된다.

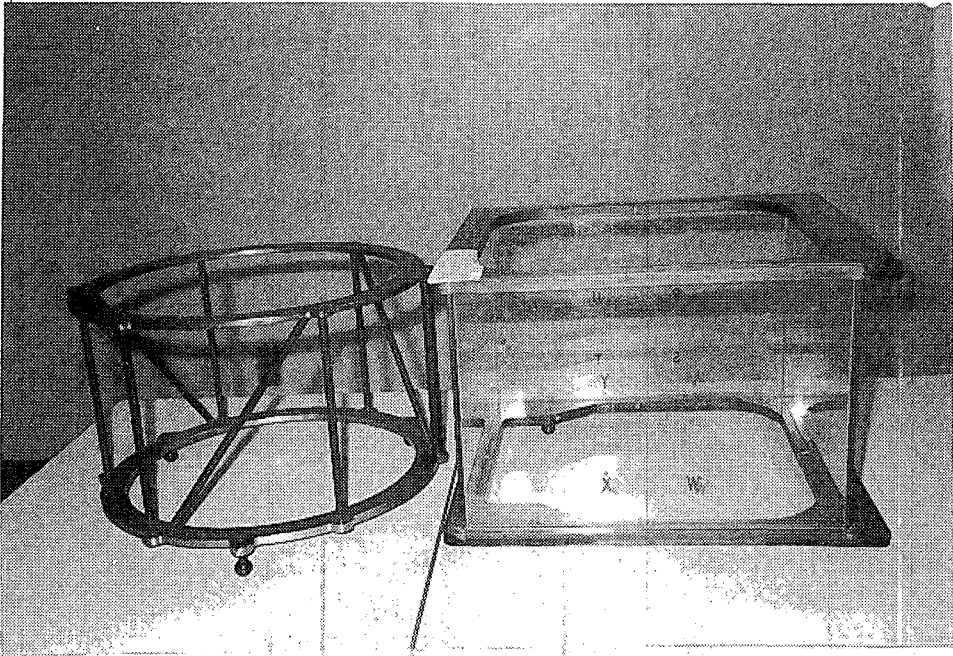
Gimbal bearing은 이것에 collimator cone을 삽입하면 beam축에 평행하게 소폭의 상하이동이 가능하고 전후 좌우 회전이 가능하도록 되어 있어서 gantry의 중심 축과 ISS의 중심 축이 약간의 굴절을 가능하게 하며 gantry의 회전력을 ISS arm에 전달한다. Collimator cone은 2차 collimator 역할을 하며 외경이 73mm 내경이 5mm와 10mm부터 30mm까지 2mm간격으로 11개가 있어 모두 12개이고 재질은 stainless steel 관속에 낮은 용점의 합금으로 채워져 있다.



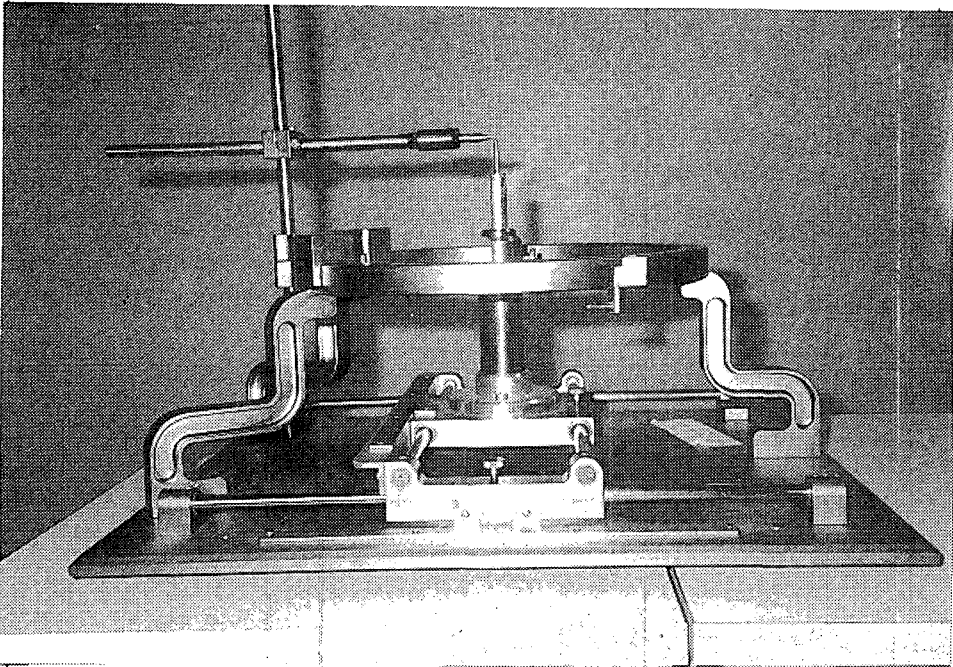
〈그림 2〉 Gantry와 ISS arm과의 결합

BRW-head ring은 환자의 머리를 움직이지 않게 4개의 screw pin으로 고정시키고, CT나 angio 촬영시에는 CT localizer나 angio localizer를 부착하여 사용한다. 환자의 치료시 couch table은 환자의 몸체를 지지하고 ISS head의 회전 각도와 같은 각도로 회전한다. 환자의 머리에 BRW-head ring을 부착한 후 CT localizer를 결합시켜 CT-scan을 한다. CT-localizer에는 6개의 수직 rod와 3개의 사선 rod가 있어 CT-image상에 9개의 점으로 나타나는데 이점을 이용하여 planning system(RSA-xknife2)

에서 병소좌표를 구하게 된다. 필요시에는 angio localizer를 결합하여 촬영한 angiogram을 가지고 angio localizer에 있는 상하 좌우 인식점(각각 8개)을 이용하여 병소좌표를 구한다.



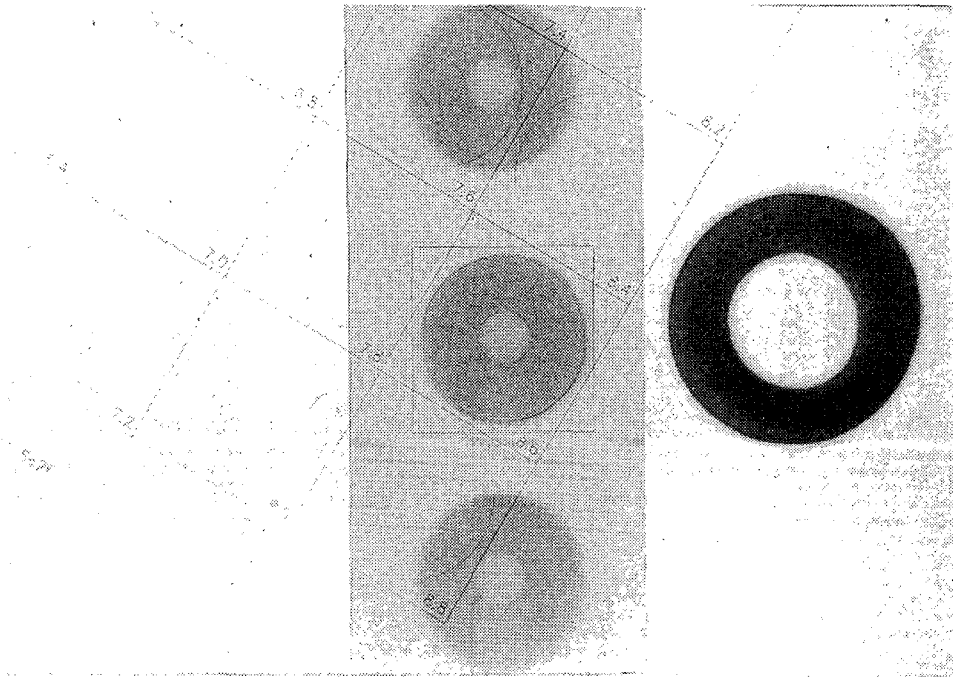
〈그림 3〉 CT-localizer (좌), angio localizer (우)



〈그림 4〉 Phantom base.

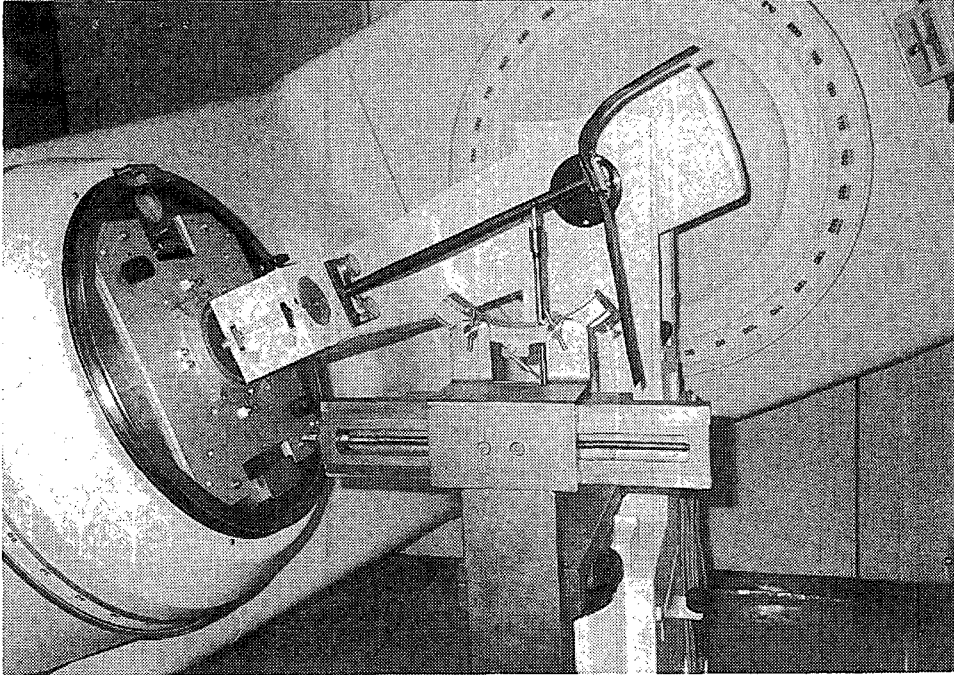
Phantom base는 좌표를 입체적으로 맞출 수 있는 scale과 끝이 뾰족한 zero pointer와 phantom base pointer가 있어서 ISS의 isocenter를 맞출 수 있다.

광학 판독 기구는 오차의 정도를 알아보는 기구인데 2개의 투명하고 collimator cone의 직경과 일치하는 여러 종류의 원이 그려진 plastic film과 scale 확대경으로 구성되어 있으며 하나의 plastic film은 2개의 원이 있는데 target point에 맞출 수 있는 원과 다른 하나의 plastic film과 크기가 같은 원이 있는데 이것을 target point(isocenter)에 맞추고 다른 하나의 plastic film과 흑화된 film의 원 가장 자리를 맞추어 0.01mm의 오차를 갖는 scale 확대경으로 측정하여 isocenter의 오차를 측정할 수 있다.



〈그림 5〉 광학 판독 기구

병소좌표는 ISS head scale과 phantom base scale값이 일치하여야만 target pointer가 ISS의 isocenter에 일치한다. 실험을 위하여 임의의 병소좌표를 ISS head와 phantom base의 눈금에 맞추고 zero pointer의 끝과 phantom base끝을 직각으로 일치시켜 zero pointer의 zero base로부터 분리하여 끝이 둥근 target pointer를 phantom base로 부터 분리하여 끝이 둥근 target pointer로 바꾸어 끼운 다음 이것을 ISS head에 부착하면 target pointer의 끝이 병소좌표가 된다. 이러한 set up 과정이 지나고 ISS isocenter의 정확도를 확인하기 위하여 긴 벨트 모형의 film을 film holder에 끼우고 Gantry의 10개 각도와 ISS head(couch table과 동시에 회전)의 10개 각도에서 각각 beam을 조사하여 isocentric sub system의 isocenter의 정확도를 알아보았다.



〈그림 6〉 Set up의 완성

Ⅲ. 결 과

View box에 광학 판독 장치를 line film과 함께 올려놓고 scale 확대경으로 isocenter의 초점으로 부터 동심 원상에서 벗어난 cone의 내경이 흑화된 가장자리의 오차를 측정하였다.

표1에서 BRW co-ordinates는 환자의 병소좌표를 말하는데 임의의 최대의 오차가 나오도록 유도하였고 gantry와 ISS head의 각도는 일정한 각도를 증감시켜 가면서 각의 크기를 최대로 하여 최대의 오차가 나오도록 유도하였다.

표 1. 임의의 병소좌표에서의 위치선정 오차

직경이 26mm collimator일때 전체 평균 오차가 $0.219 \pm 0.03\text{mm}$ 이었고 최대오차는 0.50mm이었다.

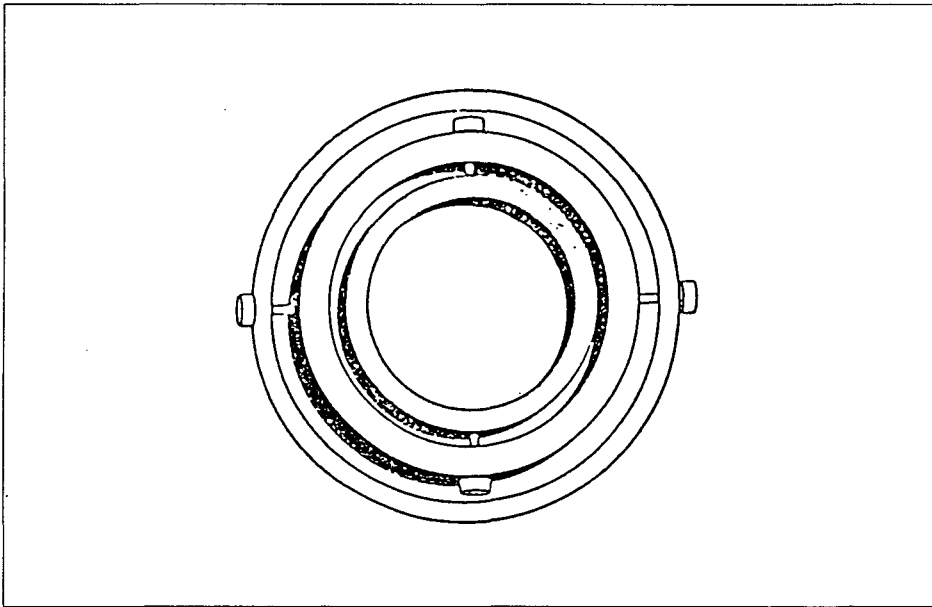
BRW Co-ordinates			Angles		Errors		Mean Error	
Axial	Lateral	Ant-Post	Gantry	ISS head	Size(mm)	Direction		
0.0	0.0	0.0	-120	-90	0.15	3		
			-120	-45	0.00			
			-90	0	0.05	6		
			-30	-45	0.30	8		
			-30	-90	0.40	7		
			30	90	0.50	8		
			30	45	0.50	8		
			90	0	0.15	9		
			120	45	0.30	10	Mean Error	0.260
			120	90	0.25	10	Max Error	0.50
50.0	50.0	50.0	-120	-90	0.35	12		
			-120	-45	0.20	1		
			-90	0	0.05	1		
			-30	-45	0.25	7		
			-30	-90	0.25	8		
			30	90	0.30	7		
			30	45	0.40	7		
			90	0	0.20	8		
			120	45	0.00		Mean Error	0.200
			120	90	0.00		Max Error	0.35
-45.0	-50.0	-50.0	-120	-90	0.30	1		
			-120	-45	0.35	2		
			-90	0	0.00			
			-30	-45	0.25	8		
			-30	-90	0.25	8		
			30	90	0.30	6		
			30	45	0.35	7		
			90	0	0.15	8		
			120	45	0.30	9	Mean Error	0.245
			120	90	0.20	9	Max Error	0.35
45.0	-50.0	50.0	-120	-90	0.20	2		
			-120	-45	0.10	1		
			-90	0	0.00			
			-30	-45	0.35	8		
			-30	-90	0.35	8		
			30	90	0.25	7		
			30	45	0.40	7		
			90	0	0.00			
			120	45	0.00		Mean Error	0.175
			120	90	0.10	11	Max Error	0.35
-45.0	50.0	-50.0	-120	-90	0.30	12		
			-120	-45	0.25	1		
			-90	0	0.00			
			-30	-45	0.10	8		
			-30	-90	0.40	8		
			30	90	0.50	6		
			30	45	0.40	6		
			90	0	0.20	7		
			120	45	0.00		Mean Error	0.215
			120	90	0.00		Max Error	0.50
Overall Mean Error							0.219+0.03mm	
Maximum Error							0.50mm	

〈표 1〉 임의의 좌표에 대한 각각의 위치선정오차

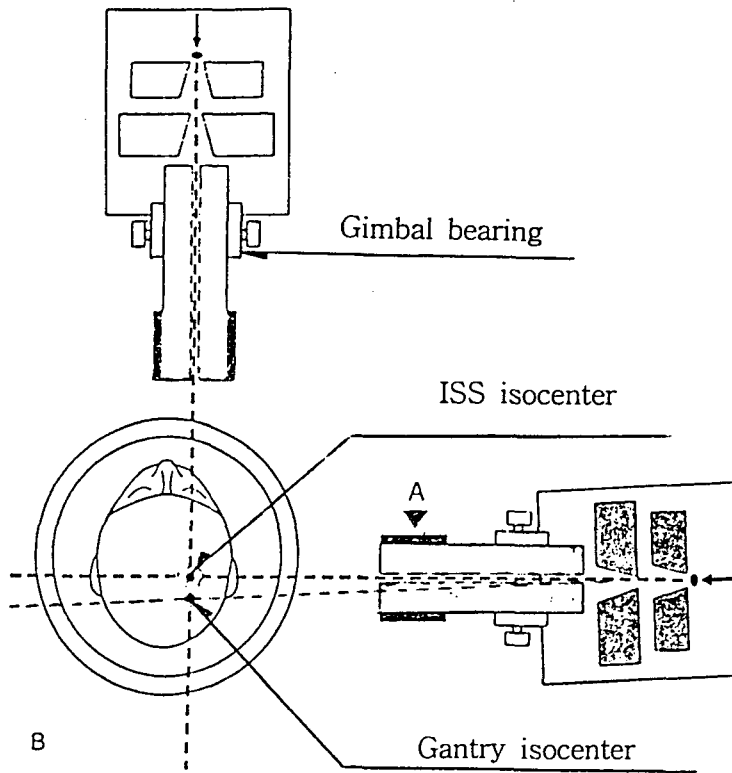
IV. 고찰 및 결론

SRS-200 system과 GAMMA KNIFE를 비교해 보면 선량 분포와 생물학적 효과는 비슷한 것으로 나타났고 isocenter의 오차도 spec상 0.3mm로 같으며 SRS-200system의 장점은 기계 값이 저렴하고 SRS-200system을 분리하고 일반적인 치료도 가능하며 매우 경제적이다. Isocentric sub system의 단점으로는 beam의 입사 각도가 작아서(SRS-200system ISS arm 240도 회전, GAMMA KNIFE source 360도 입사) 일정한 면적의 정상 조직 선량이 높게 나타난다. SRS-200 system은 안전장치가 되어 있는데 ISS arm과 결합된 gantry가 일정한 각도 이상 회전할 수 없게 하고 ISS head도 일정한 각도 이상 회전할 수 없게 하는 전기적인 장치가 되어 있고 couch도 pendent swich가 작동되지 않도록 하는 전기적인 장치와 함께 기계적인 기구를 써서 고정시키는 장치가 있다.

Isocentric sub system은 gimbal bearing이 flexible하여 두 축간의 굴절이 가능하게 하면서 gantry 회전력을 ISS arm에 전달하므로 gantry 중심 축과 ISS arm의 중심 축이 아주 작은 각도로 굴절될 수 있다. 이때 굴절각이 너무 크면 isocenter의 거리가 1mm이내이므로 굴절각은 전혀 문제되지 않는다.



〈그림 7〉 A : Gimbal bearing의 구조



〈그림 7〉 B : Gantry와 ISS의 중심축의 관계

Isocentric sub system의 ISS arm은 gimbal bearing과 collimator cone의 조합으로 gantry isocenter로부터 독립되어 회전하고 ISS head는 isocentric sub system과 한 몸체로 되어 있어 작은 couch기능을 함으로서 couch isocenter로부터 독립되어 회전하므로 정확한 iso center를 유지시켜 줌으로서 오차를 최대한 줄일 수 있음을 알았다.

참고 문헌

1. Gary Luxton, PH.D., Zbigniew Petrovich, ect : Stereotactic radiosurgery ; principles and comparison of treatment methods, Journal of clinical oncology 1993 ; 32 : 241-250
2. L. Dade Lunsford, M.D. : Stereotactic Rdiosurgery ; at the threshold or at the crossroads, neurosurgery 1993 ; 32 ; 799-803
3. David A. Larson, M.D., Ph.D.ect : Current radiosurgery practice : Results of ASTRO SURVEY, Radiation oncology biol. phys. ; 28 : 523-526
4. Bruce Pike, Ervin B.Podgorsak, Conrado Pla. : Dose distributions in dynamic stereotactic radiosurgery, Medical Physics. ; 14 : 780-788.