

방사선수술시 두개내 표적의 정위적좌표의 치료위치에서의 확인

단국대학교 의과대학 치료방사선과학교실, 신경외과학교실*

윤형근·이현구*

= Abstract =

Stereotactic Target Point Verification in Actual Treatment Position of Radiosurgery

Hyong Geun Yun, M.D. and Hyun Koo Lee, M.D.*

Department of Therapeutic Radiology, Neurosurgery, College of Medicine,
Dankook University, Cheonan, Korea*

Purpose : Authors tried to enhance the safety and accuracy of radiosurgery by verifying stereotactic target point in actual treatment position prior to irradiation.

Materials and Methods : Before the actual treatment, several sections of anthropomorphic head phantom were used to create a condition of unknown coordinates of the target point. A film was sandwiched between the phantom sections and punctured by sharp needle tip. The tip of the needle represented the target point. The head phantom was fixed to the stereotactic ring and CT scan was done with CT localizer attached to the ring. After the CT scanning, the stereotactic coordinates of the target point were determined. The head phantom was secured to accelerator's treatment couch and the movement of laser isocenter to the stereotactic coordinates determined by CT scanning was performed using target positioner. Accelerator's anteroposterior and lateral portal films were taken using angiographic localizers. The stereotactic coordinates determined by analysis of portal films were compared with the stereotactic coordinates previously determined by CT scanning. Following the correction of discrepancy, the head phantom was irradiated using a stereotactic technique of several arcs. After the irradiation, the film which was sandwiched between the phantom sections was developed and the degree of coincidence between the center of the radiation distribution with the target point represented by the hole in the film was measured. In the treatment of the actual patients, the way of determining the stereotactic coordinates with CT localizers and angiographic localizers was the same as the phantom study. After the correction of the discrepancy between two sets of coordinates, we proceeded to the irradiation of the actual patient.

Results : In the phantom study, the agreement between the center of the

radiation distribution and the localized target point was very good. By measuring optical density profiles of the sandwiched film along axes that intersected the target point, authors could confirm the discrepancy was 0.3 mm. In the treatment of an actual patient, the discrepancy between the stereotactic coordinates with CT localizers and angiographic localizers was 0.6 mm. **Conclusion** : By verifying stereotactic target point in actual treatment position prior to irradiation, the accuracy and safety of stereotactic radiosurgery procedure were established.

Key Words : Stereotactic radiosurgery, Stereotactic target point verification

서 론

선형가속기를 이용한 정위적방사선수술은 다른 방사선수술방법들과 마찬가지로 동정맥기형등의 두개내의 여러가지 양성 및 악성병소에 쓰일 수 있으면서도¹⁻⁵⁾ 감마나이프⁶⁾나 중하 전입자⁷⁾를 이용한 방사선수술에 비해 비용이 적게 들고 범용성이 좋은점 등 장점이 있다.

그러나 설치과정이 복잡하고 지속적인 Q. A. (Quality Assurance)가 요구되는 단점도 있다. 특히 여러개의 isocenter를 이용하여 불규칙한 모양의 종양을 등선량곡선내에 포함시키고 인접위험장기의 선량을 줄여주는 복잡한 치료계획을 시행할 수 있지만 실제 방사선수술시의 두개내표적의 isocenter가 치료계획에서 구한 좌표와 일치하는지, 즉 치료계획과 같이 실제 방사선조사가 이루어지는지를 치료위치에서 직접 확인하는 과정을 확립하는 것이 필요하다. 이와 관련하여 Siddon⁸⁾, Phillips등⁹⁾은 3차원공간에서 표적의 정위적 좌표를 정의하기 위한 혈관촬영용 localizer와 전산화단층촬영용 localizer를 기술하였다. 저자들은 Segaro 등¹⁰⁾이 기술한 방법을 그대로 적용하여 이러한 두 종류의 localizer를 이용한 치료위치에서의 표적좌표의 확인과정을 인체모형을 이용하여 확립한 후 환자치료시에도 그 과정을 시행하여 방사선수술의 정확성과 안정성을 기하고자 하였다.

대상 및 방법

본교실에서 이 연구에 사용한 방사선수술 system 은 Fischer system^R 인데, 방사선수술용 collimators (Fig. 1), head ring과 전산화단층촬영용 localizer (Fig. 2), 혈관촬영용 localizer (Fig. 3), 자기공명촬영용 localizer, target positioner (Fig. 4), digitizer, 치

료계획용 컴퓨터 및 프로그램 등으로 구성되어 있다.

환자치료에 앞서 먼저 인체모형을 이용한 연구를 시행했다. 두부 인체모형의 조각들 사이에 선량측정용 필름을 끼우고 가는 침을 끝에 필름이 뚫리게 쪼은 다음 접착성이 있는 끈으로 두부 인체모형을 단단히 동여 맨 후에 방사선수술용 head ring에 고정시킨 후 전산화단층촬영용 localizer 를 달아 전산화단층촬영을



Fig. 1. 방사선수술용 collimators.

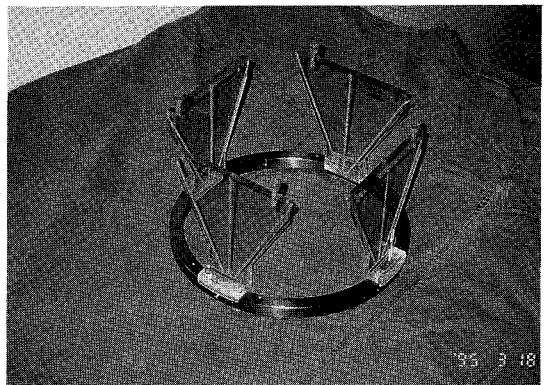


Fig. 2. Head ring과 전산화단층촬영용 localizer.

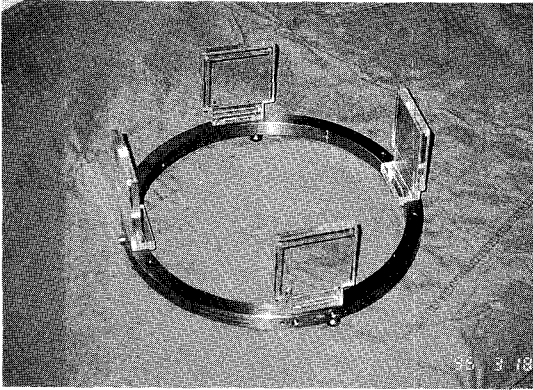


Fig. 3. Head ring과 혈관촬영용 localizer.

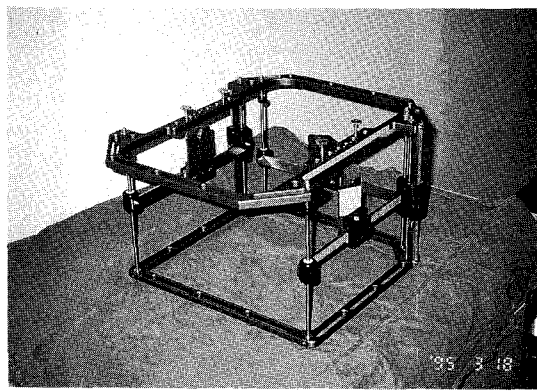


Fig. 4. Target positioner.

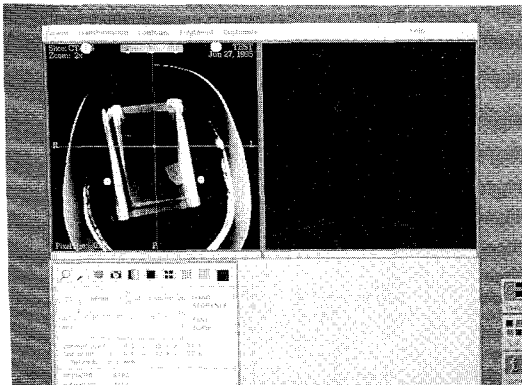


Fig. 5. 가는 칩의 끝에 필름이 뚫린 가상적 표적점을 방사선수술컴퓨터로 획득한 영상.

하고 정위적방사선수술의 치료계획용컴퓨터로 영상을 획득해서 필름이 가는 칩에 뚫린 위치로 표시된 표적점의 정위적좌표를 구한다 (Fig. 5). 이어서 두부 인체

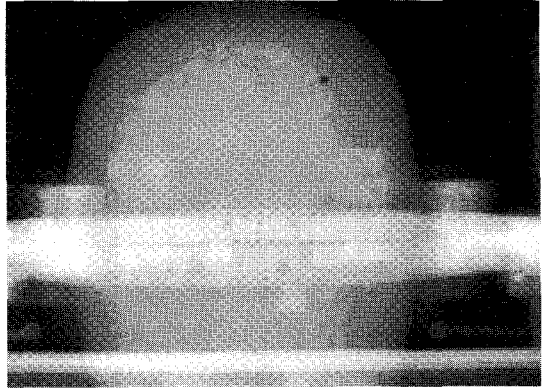


Fig. 6. 혈관촬영용 localizer를 이용해서 촬영한 전후 방향의 port 사진 (해상도를 높이기 위해 다시 찍은 것으로 실제 인체모형연구에서와 좌표의 차이가 있음).

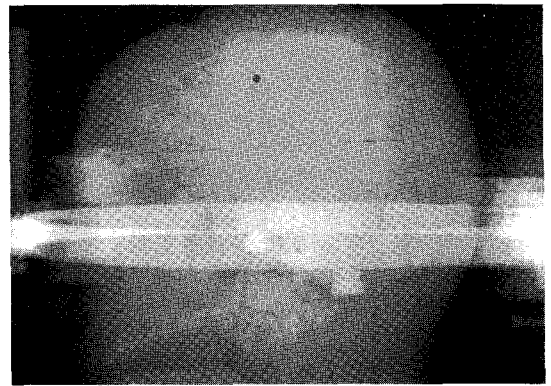


Fig. 7. 혈관촬영용 localizer를 이용해서 촬영한 좌우 방향의 port 사진 (해상도를 높이기 위해 다시 찍은 것으로 실제 인체모형연구에서와 좌표의 차이가 있음).

모형과 head ring 을 선형가속기의 table 에 고정시키고 target positioner를 이용하여 앞에서 구한 표적점의 정위적좌표에 선형가속기의 laser isocenter 를 일치시킨 후 head ring 에 혈관촬영용 localizer 를 달고 선형가속기의 port 확인용 필름들을 이용하여 전후와 좌우방향의 사진을 찍되 중복노출의 기법으로 먼저 최대조사야로 방사선조사한 후 2 mm 직경의 collimator 를 부착하고 조사한다. 그 필름들을 현상하여(Fig. 6, 7) 전후와 좌우방향의 필름에 나타난 혈관촬영용 localizer 의 표식들과 2 mm collimator 를 통한 방사선조사에 의해 나타난 흑화된 부분의 중심을 digitizer 를 이용하여 각각 치료계획용 컴퓨터의 digitization 프로그램으로 입력하여 isocenter 의 정위적좌표를 구한

다. 이렇게 구한 좌표와 앞에서 전산화단층촬영영상을 컴퓨터로 획득하여 구한 좌표를 비교하여 차이가 있으면 영상획득을 이용해서 구한 좌표를 기준으로 교정해 준 후 2 mm collimator 를 이용하여 3 개의 arc로 각 arc 당 50 MU 정도씩을 조사한 후 두부 인체모형속에 있는 선량측정용 필름을 꺼내서 현상하여 필름이 가는침에 뚫린 작은 구멍으로 표시되는 영상획득에 의한 표적점과 방사선조사에 의한 선량분포의 중심이 일치하는지를 살핀다.

실제 환자 치료시도 위와 같은 방법을 이용하되 영상획득에 의해 구한 표적점의 정위적좌표와 실제치료 상황에서 혈관촬영용 localizer 와 digitizer 를 이용해서 구한 정위적좌표가 일치하는지를 살펴서 차이를 교정한 후 바로 치료계획에 따라 환자를 치료한다.

결 과

두부의 인체모형을 이용한 모의치료과정을 시행한 후 두부 인체모형의 조각들 사이에 삽입되었던 필름을 현상해 본 결과 가는 침에 의한 작은 구멍으로 표시된 처음의 표적점과 정위적 방사선수술에 의한 선량분포의 중심이 거의 일치되는 결과를 얻었다(Fig. 8). Fig. 8 에서 흑화된 부분은 2 mm collimator 를 이용해서 3개의 arc 로 방사선수술을 시행해서 얻은 영상이며 그 영상의 중심이 표적점을 나타내는 작은 구멍의 위치와 0.3 mm 이내의 오차로 거의 일치했다.

환자 1 예 에서 확인 과정을 시행하였는데 영상획득에 의해 구한 표적점의 좌표와 실제 치료위치에서 혈관촬영용 localizer 와 digitizer 를 이용해서 구한 isocenter 의 좌표가 0.6 mm 정도의 오차로 잘 일치하였다.

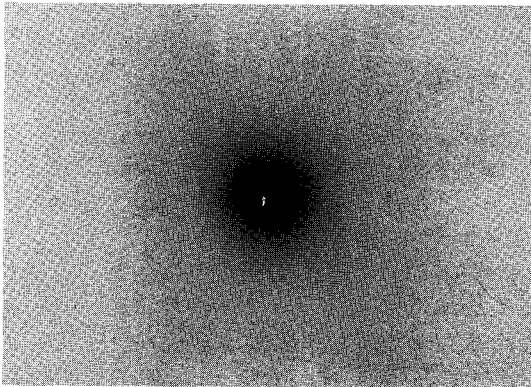


Fig. 8. 인체모형연구 후 현상한 필름.

고 찰

정위적 방사선수술시에 target volume 은 3 차원적으로 정확하게 정의되어야 하고 실제 방사선량분포가 target volume 과 가능한 한 일치해야 하며 방사선량이 target volume 밖에서는 급격하게 감소해야 한다. 따라서 정위적방사선수술 system 은 정위적좌표계상의 어떤 점에 1 mm 이내의 오차로 방사선을 정확하게 조사할 수 있도록 설치하고 그러한 상태를 유지할 수 있도록 지속적인 Q. A. 를 시행하는 것이 필요하다. 특히 시삭, 뇌간등이 치료범위로 부터 수 mm 이내에 있을 경우에 실제 선량분포가 치료계획과 차이가 생길 경우 큰 장애를 가져올 수도 있으므로 이 과정이 더욱 중요해진다.

Q. A. 의 전제가 되는 것은 선형가속기의 isocentric alignment 의 안정성이다¹¹⁾. 만일 어떤 gantry 각에서 상당한 misalignment 가 있는 경우 그에 따르는 선량분포가 방사선치료계획에 의해 결정된 것으로 부터 상당히 벗어날 수 있어서 특히 target volume 의 지름이 10 mm 미만인 경우 중대한 문제가 될 수 있다. 또한 치료계획과 정위적좌표를 반드시 두명 이상이 교차 확인해야 한다. 실제적 Q. A. 의 기본적인 방법으로는 Lutz 등¹²⁾이 기술한 linac target point simulator(Fig. 9)를 사용하여 선형가속기의 mechanical isocenter 를 확인하는 과정이 있고 선량측정용 필름을 이용하여 선형가속기의 gantry 회전시와 table 회전시에 beam axis 의 isocentric accuracy 를 관찰하고 부정확할 경우는 교정하는 과정이 있다. 미국 Harvard 의대의 JCRT (Joint Center for Radiation Therapy) 에서는 모든 gantry 와 table 의 위치에서

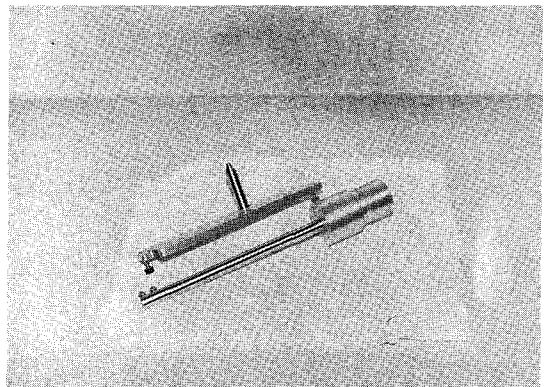


Fig. 9. Linac target point simulator.

gantry 와 table 의 회전축들이 1 mm 이내의 지름을 가진 구 (sphere) 내에서 교차되어야 한다고 규정하고 있으며 방사선수술용 collimator 에 의한 조사야의 중심축도 마찬가지로 1 mm 이내의 지름을 가진 구내에서 교차되어야 한다고 규정하고 있다¹³⁾. 이러한 iso-centric alignment 를 확인하는 과정을 본교실에서는 Q. A. 의 기본과정으로 매 치료시마다 시행하고 있다.

그러나 위와 같은 기본적인 isocentric alignment 의 확인 외에 여러가지 요인들에 의한 오차를 방사선수술 시행 직전에 치료위치에서 직접 탐지하고 교정해 줄 수 있다면 예기치 않은 실수를 방지해 줄 수 있다.

환자를 head ring 을 머리에 고정시킨 상태로 전산화단층촬영용 table 과 선형가속기용 table 에 각각 놓고 head ring 을 각각의 table 에 달린 adaptor 에 고정시켰을 때를 비교해 보면 상황이 서로 거의 유사하므로 두 경우에서 두개내의 어떤 같은 부위의 정위적좌표는 거의 일치할 것이다. 전산화단층촬영용 localizer 를 달고 전산화단층촬영을 했을 때의 두개내의 어떤 점의 좌표는 특별한 software 를 이용하지 않아도 전산화단층촬영 영상에 나타난 localizer 의 표식 (fiducial) 들의 길이를 이용해서 쉽게 구할 수가 있다. 또 임의의 형태의 target volume 의 중심의 좌표는 software 를 이용해서 구할 수 있다. 선형가속기의 table 에 head ring 이 고정된 실제치료위치에서 위에서 컴퓨터단층촬영 등 (원칙적으로 자기공명촬영, 혈관조영촬영으로도 가능함) 으로 얻은 영상을 방사선수술 치료계획용 컴퓨터로 획득하여 구한 isocenter 의 좌표로 laser isocenter 를 target positioner 를 이용하여 이동시킨 후 head ring 에 혈관촬영용 localizer 를 달고 연구방법에서 제시된 바와 같이 전후방향과 좌우방향의 port 사진을 찍어서 software 를 이용하여 isocenter 의 좌표를 독립적으로 구하고 그 좌표를 영상획득으로 처음에 구한 좌표와 비교해 보아 정확하게 일치할 경우 가장 정확하게 방사선수술이 시행될 수 있으므로 바로 계획된 치료를 할 수 있다. 대개 2 mm 이상의 차이가 나는 경우는 system 자체가 방사선수술에 적합하지 않다고 판단할 수 있고 system 설치부터 다시 행하여서 오차의 원인들을 제거해 주어야 된다. 차이가 2 mm 미만인 경우는 원칙적으로 컴퓨터단층촬영 등의 영상을 획득해서 구한 좌표를 옳은 것으로 간주하여 치료위치에서의 isocenter 의 위치를 이동하여 다시 교정하여 준 후 치료한다 (이 과정은 매우 단순함). 다만 차이가 0.5 mm 정도 이하인 경우는 교정중에 일어날 수 있는 오차도 있을 수 있음을 고려하여 교정하지 않고 바로 치료로 진행

하게 된다. 본 교실에서 행한 인체모형연구에서는 두 가지 방법에 의해 각각 구한 좌표가 x, z 좌표는 거의 정확히 일치하였으나 y 좌표는 1 mm 가량의 차이가 있어서 치료위치에서의 좌표를 영상획득에 의해 구한 좌표와 일치 시킨 후 방사선조사를 시행하였고 그 결과를 현상해서 거의 정확하게 방사선수술이 시행된 것을 확인할 수가 있었다. 본원의 실제 환자 1 예에서는 방사선수술시 두가지 방법에 의해서 구한 좌표가 x, y, z 값에서 약간씩 차이가 나서 전체적으로는 0.6 mm 정도의 차이가 났는데 교정을 하지 않고 port 필름을 찍었을 때의 위치 그대로 방사선수술을 시행하였다. 이러한 치료위치에서의 정위적좌표의 확인에 선구적 업적을 달성한 Segaro 등¹⁰⁾은 영상획득으로 구한 좌표와 치료 직전 혈관촬영용 localizer 를 이용한 port film 으로 구한 좌표의 차이가 1.5 mm 이상이 되었던 예는 없었고 25 % 에서 한 좌표계에서 1 mm 이상의 차이를 보였는데 이러한 경우는 head ring 의 정렬을 조정했다고 보고하였다.

전산화단층촬영용 localizer 를 이용한 전산화단층촬영 영상으로 부터 어떤 점의 좌표를 얻는 것은 software 없이도 쉽게 가능하지만 실제 치료위치에서 혈관촬영용 localizer 를 이용하여 port 사진을 찍어서 좌표를 구하는 데는 software 가 필요한 것이 문제인데 비교적 제한된 수의 매개변수들을 이용하기 때문에 프로그램을 국내의 병원들에서 자체제작하는 것도 가능할 것으로 생각되며 이를 이용한 확인과정이 요구된다고 본다.

결 론

방사선수술시 isocenter 의 치료위치에서의 확인을 통해 우리가 사용하고 있는 방사선수술 system 의 정확성을 확인할 수 있었고 실제 환자의 치료시 이러한 방법으로 isocenter 의 정위적좌표를 직접 확인하므로써 치료시의 여러가지 예기치 않은 실수나 오차의 가능성을 줄이고 치료의 정확성과 안전성을 높일 수 있었다.

REFERENCES

1. Podgorsak EB, et al. Dynamic stereotactic radiosurgery. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1988; 14:115-125
2. Pozza F, Colombo F, Chierego G, et al. Low grade astrocytomas: Treatment with uncon-

- ventionally fractionated external beam stereotactic radiation therapy. *Radiology* 1989; 171:565-569
3. **Colombo F, Benedetti A, Pozza F, et al.** External stereotactic irradiation by linear accelerator. *Neurosurgery* 1985; 16:154-160
 4. **Hartmann GH, Schlegel W, Sturm V, et al.** Cerebral radiation surgery using moving field irradiation at a linear accelerator facility. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1985; 11:1185-1192
 5. **Sturm V, Kober B, Hover K, et al.** Stereotactic percutaneous single dose irradiation of brain metastases with a linear accelerator. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1987; 13:279-282
 6. **Lunsford LD, Flickinger J, Lindner G, et al.** Stereotactic radiosurgery of the brain using the first United States 201 cobalt-60 source gamma knife. *Neurosurgery* 1989; 24:151-159
 7. **Kjellberg RN, Hanamura T, Davis K, et al.** Bragg-peak proton-beam for arteriovenous malformations of the brain. *N Eng J Med* 1983; 309: 269-275
 8. **Siddon RL, Barth NH.** Stereotaxic localization of intracranial targets. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1987; 13:1241-1245
 9. **Phillips MH, Frankel KA, Lyman JT, et al.** Heavy charged-particle stereotactic radiosurgery: cerebral angiography and CT in the treatment of intracranial vascular malformations. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1989; 17:419-426
 10. **Segaro CF, Lewin AA, Houdek PV, et al.** Stereotactic target point verification of an x ray and CT localizer. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1991; 20: 517-523
 11. **Flickinger JC.** Dosimetry and dose-volume relationships in radiosurgery. In: Alexander E, Loeffler JS, Lunsford LD, eds. *Stereotactic Radiosurgery*. McGraw-Hill Inc. 1993; 31-41
 12. **Lutz W, Winston KR, Maleki N.** A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1988; 14:373-381
 13. **Tsai JS, Buck BA, Svensson GK, et al.** Quality assurance in stereotactic radiosurgery using a standard linear accelerator. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1991; 21:737-748

= 국문초록 =

방사선수술시 두개내 표적의 정위적좌표의 치료위치에서의 확인

단국대학교 의과대학 치료방사선과학교실, 신경외과학교실*

윤 형 근 · 이 현 구*

목적 : 정위적방사선수술시 방사선조사가 이루어지기 전에 두개내의 정위적 표적을 실제 치료위치에서 직접 확인해서 방사선수술의 안정성과 정확성을 높이고자 함.

방법 : 실제 환자의 치료전에 두부의 인체모형의 조각들 사이에 선량측정용 필름을 넣고 가는 침의 끝으로 찌른 부분을 가상적인 표적으로 삼아 컴퓨터단층촬영용 localizer 를 달고 컴퓨터단층촬영을 한 후 방사선수술용컴퓨터로 영상획득을 해서 가상적 표적점의 정위적좌표를 구한다. 이어서 두부의 인체모형을 선형가속기의 table 에 고정시키고 앞에서 구한 표적점의 좌표에 선형가속기의 laser isocenter 를 일치시킨 후 혈관촬영용 localizer 를 달고 전후와 좌우방향의 사진을 찍는다. 이렇게 찍은 port 필름의 분석으로 얻은 정위적좌표와 컴퓨터단층 촬영의 영상획득 (image acquisition) 으로 이미 구한 정위적좌표를 비교해서 차이를 교정해 준 뒤 3 개의 arc 로 정위적 방사선수술을 시행하고 두부의 인체모형에 삽입되었던 필름을 현 상하여 선량분포의 중심과 가는 침으로 만든 구멍으로 표시된 표적점의 거리를 필름농도계를이용하여 측정한다. 실제 환자치료시에도 컴퓨터단층촬영용 localizer 와 혈관촬영용 localizer 를 써서 정위적좌표를 구하는 과정은 인체모형을 이용한 연구에서와 같다. 두 좌표의 차이를 교정한 후 실제 치료로 진행한다.

결과 : 인체모형연구에서는 선량분포의 중심과 표적점의 차이가 0.3 mm 로 잘 일치했다. 실제 환자 1 예 에서는 컴퓨터단층촬영의 영상으로 부터 구한 isocenter 의 좌표와 실제 치료 위치에서 혈관촬영용 localizer 를 이용하여 구한 isocenter 의 좌표가 0.6 mm 의 차이를 보여 잘 일치하였다.

결론 : 방사선수술시 정위적 표적점을 방사선조사전에 치료위치에서 확인하므로써 방사선 수술과정의 정확성과 안전성을 높일 수 있었다.