

X-KNIFE SYSTEM을 이용한 RADIOSURGERY의 고찰

삼성의료원 치료방사선과

오동균 · 정천영 · 최병기 · 박영환

I. 서 론

최근 우리나라의 사망원인통계를 보면 뇌혈관질환과 뇌종양으로 인한 사망이 증가하는 추세에 있다. 뇌주변부는 매우 정교하게 구성되어 있어 종양의 제거를 목적으로 한 외과적수술이나 방사선치료시 정밀함을 요하는 부위로써 치료를 시행하는 방법을 살펴보면 첫번째로 관혈적수술을 하는 방법과 뇌정위적 방사선절제술을 시행하는 방법등이 있다.

두방법을 비교하여 볼때 관혈적 수술은 직접 물리적 수술로써 무수한 신경계 주위의 병소를 제거하는 방법으로 많은 위험성을 내포하고 있는 반면 뇌정위적 방사선절제술은 관혈적 수술을 수행하기에는 병소의 위치와 크기, 환자의 전신상태, 수술의 난이도등을 고려할때 그 위험 부담이 상당히 있는 경우에 관혈적수술의 위험부담을 피할수 있는 방법으로 큰부담없이 치료를 할 수 있으며 한번 더 수술이라는 기회를 제공 받을 수도 있다.

방사선 치료적으로 볼때도 일반관습적 치료는 넓은 범위의 종양에 방사선을 수일내지 수주일에 걸쳐 조사하는 방법으로 치료범위가 크기 때문에 정상조직에 영향을 미치게 되는 경우가 없지 않았다. 이에 반해 뇌정위적 방사선절제술은 작은 범위의 종양에 많은 양의 방사선을 종양에 집중조사 하여 1회에 치료를 끝낼수 있는 방법으로 치료 방사선과 및 신경외과의 지대한 관심속에 행해지는 치료 방법으로 수술을 하지 않고 치료를 시행한다는 장점때문에 환자들의 반응도 매우 높은 추세에 있다. 뇌정위적 방사선절제술을 시행하기 위해 현재 국내에도 Gamma knife가 도입되어 사용되고 있으나 장비가 고가이며 뇌정위적 방사선절제술은 정상조직과 병변 조직을 정확히 구별하여 종양조직만 파괴해야 하므로 특수한 장비와 치료기술이 요구된다.

이에 본원에서는 X-Knife system(Radionics, USA)을 도입하였고 설치과정 및 실제환자 10명을 치료하면서 습득하게된 이장비의 특성 및 시술과정을 소개하고자 한다.

II. X-Knife system

길도 없고 이정표도 없는 광활한 우주를 여행하는 우주비행사는 움직이지 않는 몇개의 항성들을 기준점으로 미리 정해 놓고 이와 관련된 자신의 상대적인 위치, 즉 자신의 좌표를 파악함으로써 정확한

위치를 알아내어 안전한 여행을 할 수 있다. 이같은 원리로 두개골로 둘러싸여 속을 들여 볼수 없는 상황에서 두개강내의 작은병소의 위치를 결정하고 이곳에 정확하게 방사선을 조준하기 위하여 두개골 바깥에 움직이지 않는 기준틀을 장치해 놓고 이것으로 부터의 삼차원적인 좌표값을 결정하면 속을 들여다 보지 않고도 알아낼수 있다.

정위적 방사선수술의 과정은 두개강내의 병소의 위치를 결정하기 위한 기준이 되는 틀(head frame)을 두개골에 단단히 고정시키는 것으로 부터 시작된다. 그후 이 고정틀을 부착한 상태에서 C-T, MRI, Angiography 등의 검사를 시행하여 병소의 위치를 정확히 파악하여 결정한 후 그 위치를 기준틀과의 상대적인 좌표 값을 구함으로써 직접 보지 않고도 이곳의 위치에 도달할 수 있는 근거를 마련한다. 한편으로 좌표값으로써 표현될 수 있는 병소의 위치에 정확하게 방사선을 조준하도록 미리 프로그램 되어 있는 소프트웨어를 이용하여 방사선수술의 치료 계획을 시행한후에 이 곳에 선형가속기를 이용하여 원하는 양의 방사선을 집중적으로 조사하면 치료는 종료된다.

Ⅲ. 뇌정위적 방사선절제술을 위한 장비구성 및 시술방법

뇌정위적방사선절제술은 1950년대 스웨덴 신경외과 의사인 Leksell에 의해 고안된 치료방법으로 양성자선의 특성인 Bragg-peak를 이용하여 시도되다가 주변기기의 발달로 201개의 CO-60 선원을 이용한 Gamma knife의 치료법으로 발전하였다가 최근에 와서는 선형가속기를 이용하는 방법이 많이 시도되고 있다.

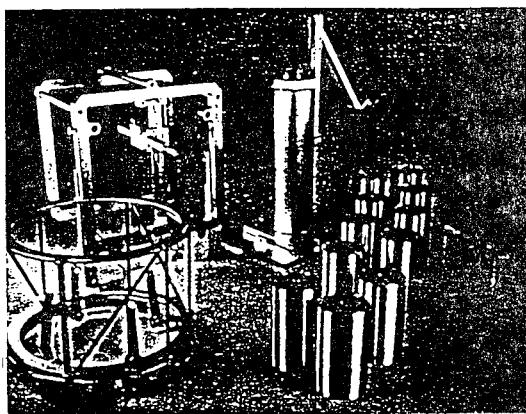
뇌정위적 방사선절제술은 비관혈적 수술방법으로 뇌종양 및 병소부위에는 최대한의 선량을 주고 주변부위에는 최소한의 선량을 받게 하는 치료법으로써 가장 이상적인 치료로 알려져 있는 conformal therapy의 대표적인 예라 할 수 있다.

1. X-Knife system의 장비구성

- Varian 600C-4MV Linear accelerator.
- B R W / C R·W head frame, G T C frame.
- Computer work station & planning software.
- Head ring assembly.
- C-T
MRI
Angiography
localizer.
- R L P P (Rectilinear Linac Phantom Pointer).
- L T L F (Laser Target Localizer Frame).
- M I S (Mechanical Isocenter Standard).
- Circular collimator(12, 14, 16 , 18, 20, 22, 24, 26, 30, 34, 38, 42mm).
- Depth helmet
- Film holder

•부속기구

등으로 구성되어 있다.(그림1 참조)



head ring assembly and
CT localizer frame(왼쪽아래)
rectilinear linac phantom pointer(왼쪽위)
linac collimator assembly and
film holder(중간)
angiographic localizer(오른쪽)

<그림 1>

2. Radiosurgery의 procedure.

방사선수술의 정확도를 높이기 위해 상기기술한 장비를 이용하여

- ① data aquisition.
- ② computer planning
- ③ QA.
- ④ treatment.

등 정밀한 과정을 거쳐야 한다.

1) data aquisition

환자의 병변부분을 C-T, MRI, Angiography를 선택적으로 시행하기 위하여 Head ring frame device 를 환자두부에 장착하고 각각 목적에 맞는 localizer를 사용 병변의 좌표를 환산(이때 program 상의 algorithm을 이용) computer system에서 최적의 plan을 하기 위한 data를 얻는 과정에서 C-T, MRI, Angiography 등을 이용했을때의 장단점을 살펴보면

- ① C-T 에서 얻게 되는 data는 정확하고 distortion이 MRI 보다는 훨씬적다는 잇점을 갖고 있기에 가장 많이 이용하며 대개 3mm 간격으로 slice를 얻게 되며 interesting region은 1.5mm로 시행한다.
- ② MRI에서 얻게되는 data는 internal structure가 잘보이고 C-T에서 안보이는 것을 볼수가 있으며 resolution이 뛰어날뿐 아니라 sagital, coronal view를 볼수 있다는 장점을 지닌 반면 distortion이 생길수 있으며 outer contour가 선명하게 나타나지 않으며 컴퓨터 계획시 자동으로 입력되지 않기 때문에 컴퓨터 계획에 많은 시간을 소모해야 하는 어려움을 가지고 있다.

- ③ Angiography는 뇌혈관질환(AVM)시 시행하며 target region을 정확히 볼수 있다는 장점을 가지고 있으며 16개의 landmark가 부착된 angiocalizer를 이용하여 anterior posterior 및 lateral view를 얻을 수 있는데 MRI와 마찬가지로 distortion이 생길수 있기 때문에 좌표를 얻기 보다는 target region을 확인하는데 쓰이게 된다.

2) computer planning

위와 같은 방법으로 얻은 data를 바탕으로 computer planning을 시행하는데 새삼 강조하지만 치료 계획시 일시에 많은 선량을 병소에 집중조사할때 주변조직의 피폭을 최소화 할수 있도록 선량계획을 하는 것이 제일 중요하겠다.

특히 critical organ인 lens, optic nerve, brain stem, optic chiasm등은 가능한 최소의 피폭도 허용되지 않도록 주의해야 한다.

치료계획시 고려되어야 할 사항을 살펴보면

종양이 작지않은 경우나 구형이 아닌 불규칙한 경우 isocenter를 하나로 할 것인지 혹은 두개로 할것인지를 결정하는 것이 중요하며 arc rotation 간격을 얼마나 둘것인지 그리고 circular collimator field size의 결정은 치료계획시 아주 중요한 부분이며 또한 dose per arc 등이 잘 고려되어야 한다.

참고로 1980년대부터 뇌정위적 방사선절제술을 활발히 시행하고 있는 JCRT(JOINT CENTER RADIATION THERAPY Boston, USA)에서 본연자가 교육받고은 치료계획과정을 소개하면

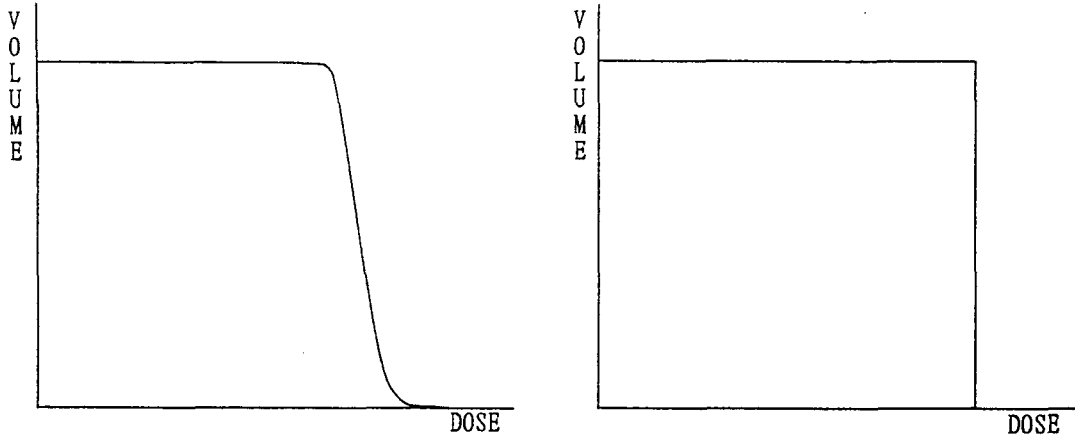
- ① Stereotatic radiosurgery의 경우는 대개 brain에 metastasis된 경우에는 boost의 목적으로 시행하며 1회치료시 1000~2000cGy 정도로 조사하는 경우가 많았다.

- ② 치료시 이용되는 회전 arc수와 총회전각(total angle)은 5~7 arc를 시행하여 총회전시키는 각도는 300° 이상을 회전해야만 좋은 치료를 할 수 있다고 권장하였다.

그 이유를 보면은 arc수가 작게되면 적은 각도 내에서 critical organ을 피하면서 주고자하는 방사선의 양을 제대로 주기가 어렵고 arc수가 많게 되면 방사선이 넓은 범위로 분산되기 때문에 tumor region에서 급격한 선량감소를 얻을 수 있으나 불필요하게 선량을 받게되는 부위가 많아지게 되며 또한 연이은 arc와 arc 사이의 각도가 작아지게 되어 인접한 arc끼리 서로 겹치게 되므로 썩 hot spot region이 생길수도 있기 때문에 5~7arc를 적극 권장 하였다.

머리에 핀을 고정할 수 없는 경우나 소아의 경우 등은 stereotatic radiation therapy 라는 치료법을 시행하고 있었는데 우리가 시행하는 conventional therapy의 개념과 유사하다. 1회당 200cGy 씩 6000cGy까지 conventional therapy에 정확성을 기할 수 있는 매우 유익한 치료방법을 시행하고 있었고 적극 권장하였다.

특히 X-knife system에서 source에서 실제 치료부위를 보는 것과 같은 Beam's eye view 기능과 3dimension에서만 가능한 cumulative dose volume histogram을 이용하여 tumor region이나 critical organ을 지정해가며 지정부위내의 체적과 영향받는 선량과의 상관관계를 그래프로 확인할 수 있는 기능이 있어서 보다 최적의 치료 계획을 세울수 있다.(그림2. 참조)



〈그림 2〉

그림2에서 보면 X축이 dose를 Y축이 volume을 나타내는데 지정해준 volume내에 조사되는 dose의 양을 나타내준다.

- 좌측그림의 경우는 tumor region의 경우를 나타내는 것으로 volume내에서 dose가 적절한 분포를 보여주고 있다.
- 우측그림의 경우는 우리들 모두가 추구하는 완벽한 3dimensional conformal therapy의 cumulative dose volume histogram을 나타내는 것으로 volume내 균일한 선량을 나타내는 것을 볼수가 있다.

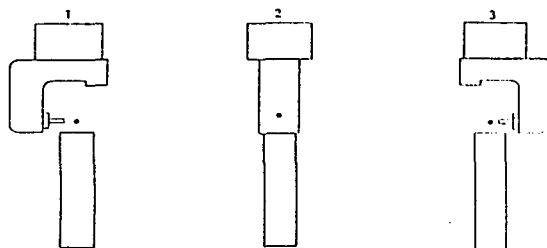
3. QA과정.

뇌정위적방사선절제술의 성공여부는 정확한 isocenter의 확인에 있다고 할수 있을 만큼 중요한데 X-knife system에서 제시하는 방법이며 실제 본원에서 시행하는 방법을 소개하면 다음과 같다. Isocenter의 정확성여부는 MIS(Mechanical Isocenter Standard)를 이용한 laser정렬과 MIS 및 RLPP(Rectilinear Linac Phantom Pointer)를 이용하여 두번의 film test를 시행하므로써 isocenter 정확성 여부를 확인한다.

첫번째로 MIS를 이용한 film test 과정을 보면

collimator housing에 12mm circular collimator를 삽입하고 isocenter 부분에 pin ball을 부착하여 시행하게 되는데 gantry angle 0° 90° 270° 에서 각각 beam을 조사하게 된다.

그림3은 선형가속기의 top view의 모습으로 맨왼쪽이 gantry가 ccw방향(270°)에 위치한 모습이고 중간은(0°) 오른쪽은 cw방향(90°)을 나타낸다.

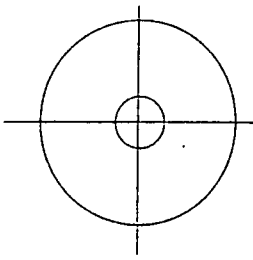


〈그림 3〉 film test orientations, (top views)

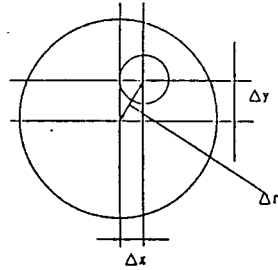
그림4는 film test 결과를 그림으로 나타낸 것인데 film상에 나타난 바깥원이 실제조사음영이고 가운데 부분의 작은 원이 pin ball의 음영이다. 이때 두 원음영 사이의 중심점과 중심점 사이의 거리(Δr)를 측정하여 0.5mm이내이면 acceptable 하다고 X-knife system에서 제시하였는데 우리병원의 측정결과 0.4mm로 매우 양호하였다.

a)의 경우는 test결과 정확하게 일치하는 것을 보여주는 경우이다.

b)의 경우는 Δr 만큼 벗어난 것을 알수 있다.



a) 정확하게 일치한 경우



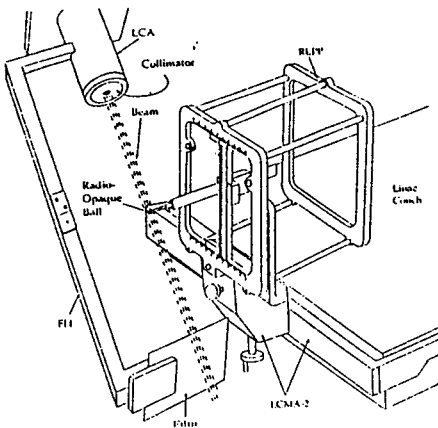
b) Δr 만큼 벗어난 경우. (0.4mm)

<그림 4> film test result.

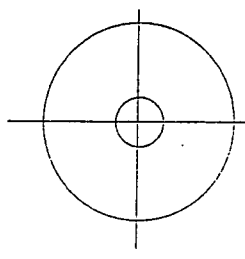
두번째는 진행된 과정으로 RLPP(Rectilinear Linac Phantom Pointer)를 이용한 film test로써 이 과정은 RLPP를 이용하는 점만 다르고 모든 과정이 MIs를 이용하는 방법과 동일하다.(그림5-a)참조.

RLPP를 이용한 film test의 경우는 Δr 이 1.5mm이내이면 acceptable하다고 제시했는데 역시 1.8mm로 정위적 방사선절제술을 시행하기에 충분하였다.(그림5-b)참조.

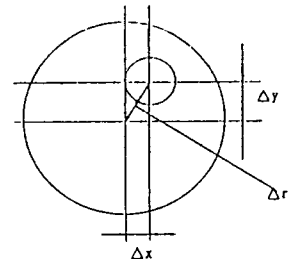
a) film test of RLPP



b) film test result



a) 일치한 경우



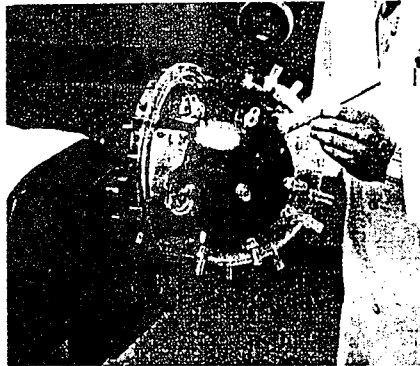
b) Δr 만큼 벗어난 경우(0.8mm)

<그림 5>

두번의 film test를 통하여 isocenter의 정확성 여부를 확인하면 장비적으로 모든 QA 과정은 끝나게 되고 치료실시전 마지막 과정으로 depth helmet기구 (그림6 참조)를 환자의 머리에 씌워 helmet에 있는 26개의 구멍에 depth ruler를 삽입하여 depth 및 land mark를 서로 비교함으로써 C-T 이후부터 치료실시 전까지 환자 두부의 움직임을 확인함으로써 정확성을 기하게 된다. 이과정은 C-T 이후에 바로 시행하여 기록해 두고 치료실시전 시행하여 서로 비교함으로써 오차를 알수 있게 된다.

특히 이기구는 sterotatic radiation therapy에서 매일 같은 자세를 유지하는가를 확인하는데 유익하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

〈그림 6〉



앞의 모든 과정에서 isocenter의 정확성 및 환자의 움직임, head ring의 고정여부가 안전한지를 확인한다.

4. Treatment

마지막으로 치료계획에서 제시된대로 순차적으로 치료대 및 gantry 회전을 실행하여 방사선을 조사함으로써 치료를 시행한다.

IV. 결론 및 고찰

X-Knife system을 이용한 뇌정위적 방사선절제술을 시행함으로써 얻을 수 있게 될 잇점들을 4가지 정도로 나누어 보았다.

첫째로 : Gamma Knife system에 비해 경제적인 비용으로 장비를 구입할 수 있으며 그로 인한 비용 절감의 효과로 환자입장에서 볼때 치료비도 절감 시킬수 있으며 뇌절개수술을 시행한 경우 2주내지 3주의 입원기간이 필요하나 뇌정위적 방사선절제술은 하루 동안에 치료를 끝낼수 있기 때문에 수술비 및 입원비를 절감 시킬 수 있다. 병원 입장에서는 재원일수를 단축할 수 있는 측면과 현의료보험제도에 있어서 특화수가를 적용할 수 있어 일반방사선 치료에 비해 훨씬 고무적이라 할수 있다.

두번째로 : 안전하다고 할 수 있는데, 뇌절개를 하지 않고 뇌정위적 방사선수술을 시행하기에 비침

습적, 비관혈적이며 이 같은 이유로 감염이나 출혈같은 수술 합병증 위험이 없고 수술로 불가능한 경우나 종양조직의 뇌속의 위치 때문에 수술로 위험한 경우에도 가능하다.

세번째로 : 정확하다고 할 수 있다. 환자에게 투여되는 방사선이 병소를 정확하게 맞출 수 있도록 고안되어 있기 때문에 컴퓨터 계획상에서 계산된 좌표에만 방사선이 조사되도록 할 수 있으며 이로 인하여 다른 구조물에 영향을 최소화 하여 정확한 치료를 할 수 있다.

네번째로 : Vision of stereotatic radiation therapy라고 정의하여 보았는데 X-knife에서 구입한 G.T. C. frame을 이용한 경우로 기존의 conventional therapy의 개념으로 분할조사(fractionation)를 시행한다면 생물학적효과 (biological effect)를 증대 시키면서 보다 정확한 치료를 시행할 수 있지 않을까 사료되며 방사선절제술의 경우 하루에 한명정도 치료를 실시하는데 비해 여러명의 환자를 치료할 수 있을 것으로 기대된다.

끝으로 어려운점은 Stereotatic radiosurgery를 원활히 수행하기 위해서는 치료방사선과, 신경외과, 영상의학과 간의 완벽하고도 긴밀한 협조 및 team work이 필수적으로 요구된다고 할수 있으며 우리가 치료를 시행한 10명중 3명의 환자의 겨우는 한개의 isocenter로 QA과정 및 치료시간을 합하여 평균 3시간정도 소모되었었는데 7명의 환자의 경우는 isocenter가 두개인 경우로 isocenter가 한개인 경우보다 약 1.5배 정도의 시간이 더 소모되어 앞으로 시간을 줄일수 있도록 많은 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 서태석, 서덕영, 박찬일, 하성환, 강위생, 박승훈, 윤세철(1993)
IBM Personal Computer를 이용한 3차원적 뇌정위적 방사선 수술계획 시스템의 개발
대한치료방사선과 학회지, 제11권 1호
2. 추성실, 서창욱, 노준규, 정상섭(1989)
Stereotatic radiosurgery를 위한 소형조사면의 선량측정.
대한치료방사선과학회지, 제7권1호
3. 박경란, 김계준, 추성실, 이종영, 조철우, 이창걸, 서창욱, 김귀언
선형가속기를 이용한 방사선수술의 선량분포의 실험적 확인.
대한치료방사선과학회지, 제11권 2호(1993)
4. Leksell L : Stereotactic radiosurgery. J Neurology 46 ; 797-803, 1983.
5. Ken R. Winston M. D, Wendell Lutz, Ph. D
Linear Accelerator as a Neurosurgical Tool for Stereotactic Radiosurgery
Neurosurgery vol.22, No.3. 454-464, 1988
6. Hanne M. Kooy, Ph. D., Lucien A. Nedzi, M.D., Jay S.Loeffler, M.D Treatment planning
for stereotactic radiosurgery of intracranial lesions.
7. R K Rice, J L Hansen, G K Svensson and R L Siddon
Measurements of dose distributions in small beams of 6MV x-rays Phys. Med. Biol., 1987,
vol.32, 1087-1099
8. X-knife-2 user's guide & X-knife installation and service manual