

## 뇌동정맥기형의 감마나이프 방사선 수술

— 치료 계획 방법의 개선을 중심으로 —

경희대학교 의과대학 방사선종양학교실, 신경외과학교실\*

장건호 · 임영진\* · 홍성언 · 임 언\*

=Abstract=

### Advanced Treatment Planning Method for Gamma Knife Radiosurgery of Cerebral Arteriovenous Malformations

Geon-Ho Jang, M.S., Young Jin Lim, M.D., Seong Eon Hong, M.D. and Won Leem, M.D.\*

*Department of Radiation Oncology, Neurosurgery,\* School of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, Korea*

Since March 1992, total 200 patients who visited our hospital as functional or organic lesions of central nervous system were treated by gamma knife stereotactic radiosurgery for 27 months. Thirty-nine patients of total cases was diagnosed as cerebral arteriovenous malformation.

The rate of magnification on X-ray film was reduced by cutting fixation adaptor from 1.6 to below 1.45 times. In order to treat the deep- and lateral-seated cerebral arteriovenous malformation, we slightly modified the angiographic indicator, the commercial Leksell system, by cutting each inner sides about 5mm. We performed the more distinction of the scales by adapting 0.5mm or 1mm copper filter to angiographic indicator. The center point of indicator (X=100mm, Y=100mm, Z=100mm) is corrected by adjusting scales of X-, Y-, Z-axis to each inner 100 and outer 100 point within 1-2mm by repeated exposure of X-ray on films in trial-and-errors. We have developed the "GKANGIO" programed as the Fortran-77 in Microvax - 3100, which can save treatment planning time and perform accurate pretreatment planning using the theoretical target matrix center. The theoretical description of the simplified method is presented for the reduction of experimental and numerical errors in treatment planning of radiosurgery.

**Key Words:** Stereotactic radiosurgery, Gamma knife, Cerebral arteriovenous malformation, Angiography indicator

### 서 론

3차원 뇌정위 방사선 수술은 1951년 Lars Leksell에 의해 처음 제안되어, 감마나이프 장치를 이용한 수술이 1968년에 처음 시행되었으며, 현재는

선형가속기와 함께 뇌정위 방사선 수술의 대표적 역할을 수행하고 있다<sup>1,2)</sup>. 3차원 뇌정위 방사선 수술은 방사선 선원에 따라 하전입자에 의한 치료와 광자선에 의한 치료의 두 가지 형태로 크게 분류할 수 있으나 하전입자를 이용한 치료인 경우에는 하전입자를 생산하기 위하여 거대한 입자가속 장치가 별도로 있어야만

가능하다. 광자를 이용한 치료인 경우는 크게 감마선을 이용한 치료와 X-선을 이용한 치료로 나눌 수 있으며, 전자는 감마나이프가 이용되고 있으며 후자는 선형가속기가 사용되고 있다<sup>3,4)</sup>. 감마나이프는 선원 배열 형태에 따라 두가지 형태(Type A,B)가 있으며, 본원에서는 1992년 3월 부터 1994년 6월 까지 200명의 뇌에 발생하는 여러 질환에 대한 환자들을 치료 하였다.

뇌동정맥기형의 경우 병변의 3차원 좌표를 구하기 위하여 전후와 측면의 뇌혈관 조영술을 시행한 필름을 치료 계획에 이용한다. 치료 계획의 주된 목적은 병변 외의 정상 조직에는 방사선의 양을 최소한으로 줄이고, 병변에는 최대의 방사선량이 균일하게 분포하여 병변이 괴사될 수 있도록 하는 것에 있다<sup>5)</sup>. X-선에 의한 전후와 측면 두개의 영상이 일련으로 나오기 때문에 영상중에서 가장 잘 병변이 나타난 두개의 영상을 이용하여 치료 계획을 수립하게 된다. 본원에서는 여러 가지 변형된 시스템과 새로운 프로그램을 개발하여 독자적으로 사용하고 있다. 감마나이프를 이용한 뇌동정맥기형의 수술시에 일정하게 고정된 틀에 환자를 최적의 조건에 맞게 치료를 하기 위하여 보다 정확하고, 빠르고, 편리한 형태의 치료 준비 및 계획을 강구하여야만 한다.

본 논문의 목적은 뇌동정맥기형의 감마나이프 정위 방사선 수술의 범위를 넓힐 수 있는 방법과 치료 계획 준비 단계에서 발생될 수 있는 여러가지 오차의 범위를 줄일 수 있는 방법에 대하여 논하고, 실제 KULA 프로그램을 이용한 치료 계획 전의 선량 조사의 중심 좌표와 Shot의 위치 및 기타 여러 요소들을 동시에 정확히 계산 할 수 있는 프로그램의 개발에 있다.

## 대상 및 방법

연구 대상은 뇌동정맥기형의 감마나이프 정위 방사선 수술 환자를 대상으로 혈관 조영술에 의한 필름의 확대율을 보통 사람의 머리 크기에 근접하도록 고정틀의 수정에 따른 필름 확대율의 변화를 살펴보았다. 또한 뇌심부의 동정맥기형을 보다 폭넓게 치료하기 위하여 제한된 혈관 조영술용 좌표계의 변형에 대하여 기술하였고, 혈관 조영술시에 나타나는 좌표계의 좌표값들의 선명도가 떨어져 실제 치료 계획에 이용할 수 없

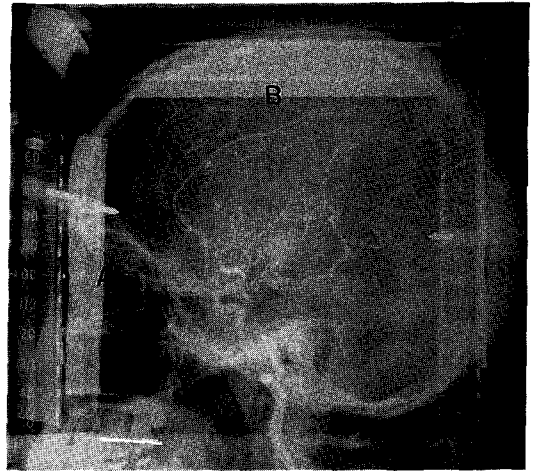


Fig. 1. 실제 입상에 구리 필터의 사용에 의한 좌표의 선명도와 좌표계의 내부와 외부의 중심좌표를 2-3회의 반복 촬영에 의해 Y-값과 Z-값을 일치한 모형.

게 되는데 이러한 것을 개선할 수 있는 방법에 대하여 논하였다. 정확성이 요구되는 본 수술의 문제점을 수정 보완하기 위하여 뇌혈관 조영술과 관련된 감마나이프용 장비를 변형시키고, 새로운 촬영 기법을 고안하지 않으면 안되었다. 따라서 이들 방법에 대한 그동안의 개발된 기법을 기술하고, 필름의 확대율과 병변의 중심 좌표 계산 및 Shot의 위치를 결정할 수 있는 새로운 프로그램에 대하여 논하였다. 사용된 컴퓨터는 마이크로 VAX-3100이며 사용된 컴퓨터 언어는 포트란-77을 이용하였다.

## 1. 전후와 측면 필름의 X, Y, Z 좌표의 확대율 계산

전후와 측면 필름의 X, Y, Z 각각의 내측 및 외측의 확대율의 계산을 계산하기 위해 우선 뇌혈관 조영술을 이용하여 두장의 사진을 Fig. 1과 같이 얻을 수 있다. Fig. 1에서 외부에 있는 쪽이 많이 확대된 쪽이고, 내부에 있는 쪽이 적게 확대된 것이며, 이 내부와 외부의 좌표들을 이용하여 좌표의 확대율을 식1과 같이 구할 수 있다.

$$M_{X_S} = \frac{S_{XR}}{S_{XL} - L_{XS}} \quad 1(a) \quad M_{X_L} = \frac{L_{XR}}{L_{XL} - L_{XS}} \quad 1(b)$$

1(a)식은 내측에 대한 X의 확대율을 계산한 것으로 여기서,

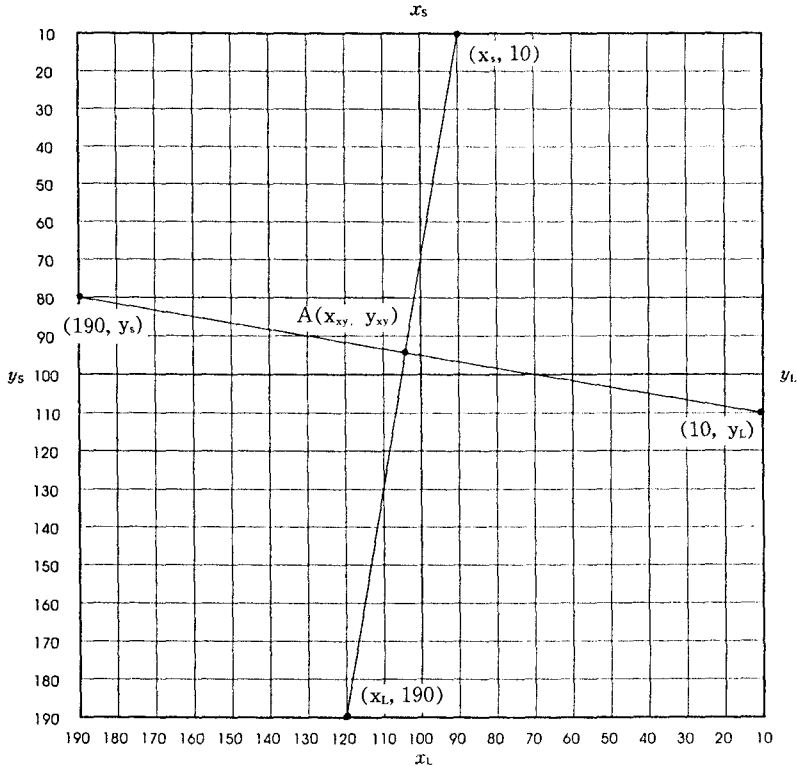


Fig. 2. 병변의 중심좌표를 수동으로 구하기 위한 XY평면에서의 차트 모양

$M_{Xs}$  : 내측(적게 확대된 쪽)의 X좌표의 확대율  
 $S_{XR}$  :  $S_{XL}$ 과  $S_{Xs}$  사이의 실측 거리  
 $S_{Xs}, S_{XL}$  : 내측의 X좌표의 작은 숫자 값과 큰 숫자 값이며  
 1(b)식은 외측에 대한 X의 확대율을 계산한 것이며  
 $M_{XL}$  : 외측(많이 확대된 쪽)의 X좌표의 확대율  
 $L_{XR}$  :  $S_{XL}$ 과  $S_{Xs}$  사이의 실측 거리  
 $L_{Xs}, L_{XL}$  : 외측의 X좌표의 작은 숫자 값 큰 숫자 값이고  
 Y와 Z에 대한 내측 및 외측의 확대율도 동일하게 계산할 수 있다.

2. 병변의 중심 좌표의 계산

전후와 측면 필름의 X, Y, Z 각각의 좌표에 대한 확대율 계산이 끝나면 병변의 중심 좌표를 구하게 된다. 이를 계산하기 위하여 뇌혈관 조영술의 좌표계에서 제공되는 수치에 의한 Fig. 2와 같은 차트를 이용하였다. 식이 유도되는 과정은 아래와 같다.

1) X-Y 평면에  $x_s, y_s, x_L, y_L$ 를 표시하고  $x_s$ 와  $x_L, y_s$ 와  $y_L$ 를 연결한다.

- 2) 이 두개의 1차 방정식의 교점(A)이 X-Y 평면에서의 병변의 중심좌표가 된다.
- 3) X에 대한 선분은 두점  $(x_s, 10)$ 과  $(x_L, 190)$ 의 직선의 방정식이 된다.
- 4) Y에 대한 선분은 두점  $(190, y_s)$ 과  $(10, y_L)$ 의 직선의 방정식이 된다.
- 5) 위의 두 직선의 방정식을 구하고 두방정식의 교점의 방정식을 구하면 X-Y 평면에서의 병변의 중심좌표를 구할 수 있다.
- 6) 위의 과정을 X-Z 평면과 Y-Z 평면에서 구한다. 위의 과정이 모두 끝나면 X-Y 평면에서  $X_{xy}, Y_{xy}$ 와 X-Z 평면에서  $X_{xz}, Z_{xz}$ , Y-Z 평면에서  $Y_{yz}, Z_{yz}$ 을 얻을 수 있으며 실제 병변의 중심좌표(CRX, CRY, CRZ)는 식 2(c)와 같이 두 평면에서의 평균 값이 된다.

$$x_{xy} = \frac{\left[ \frac{180x_s}{x_s - x_L} \right] + 10 \left[ \frac{y_s - y_L}{180} \right] - y_L + 10}{\left[ \frac{y_s - y_L}{180} \right] - \left[ \frac{180}{x_L - x_s} \right]} \quad 2(b)$$

$$y_{xy} = \left[ \frac{y_s - y_L}{180} \right] (x_{xy} - 10) + y_L - 2(b)$$

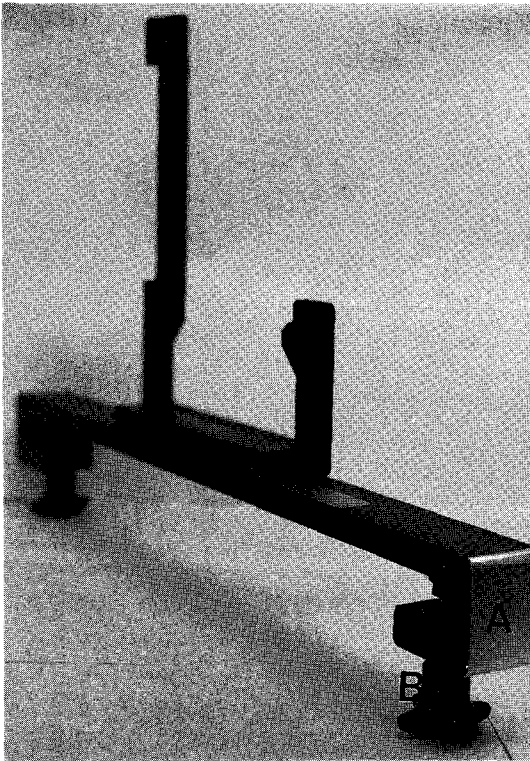


Fig. 3. 필름의 확대율을 줄이기 위해 고정틀의 A와 B 부분을 절단한 모형.

$$CRX = (x_{xy} + x_{xz}) - 2(c)$$

여기서,  $x_s, y_s$ 는 Fig. 1에서의 병변 중심의 내측  $x, y$  값

$x_L, y_L$ 는 Fig. 1에서의 병변 중심의 외측  $x, y$  값

$x_{xy}, x_{xz}$ 는 X-Y 및 X-Z 평면에서 X의 정점의 좌표값이다.

각 평면에 대한  $x, y, z$  값의 평균값은 2(c) 식과 같이 병변의 중심 좌표를 계산하였으며  $y$ 와  $z$ 에 대한 좌표도  $x$ 좌표와 동일하게 구할 수 있다.

### 3. 전후와 측면 촬영 필름의 확대율 계산

병변의 중심점에 대한 좌표 계산이 끝나면 전후와 측면의 뇌혈관 조영술 필름의 확대율을 계산한다. 확대율은 X-선이 표적에서 필름까지의 거리와 좌표계에서 필름까지의 거리의 비에 의하여 결정된다<sup>6-8)</sup>. 전후와 측면 필름의 확대율은 비례 법칙에 의해 식3으로 유도될 수 있다.

$$GM_{AP} = M_{X_L} - (M_{X_L} - M_{X_S}) (t/180) - 3(a)$$

$$GM_{LAT} = M_{Y_L} - (M_{Y_L} - M_{Y_S}) (t/180) - 3(b)$$

여기서,  $GM_{AP}$ 는 전후 필름의 확대율을 나타낸 것이며,  $GM_{LAT}$ 는 측면 필름의 확대율을 나타낸다. 또한 전후 필름에서의  $t = 190 - CR_Y$  이며, 측면 필름에서의  $t = CR_X - 10$  이다. 이는 좌표계의 실제 크기가 180mm이며 눈금이 전후와 측면에 대하여 각각 10mm부터 190mm까지 나타나 있기 때문이다.

### 4. Shot 위치의 결정

최종적인 단계로 Shot의 위치를 결정한다. Shot의 위치는 병변의 중심 좌표에서 얼마 만큼이 떨어졌느냐에 따른 거리와 필름의 확대율에 의해 결정된다. X, Y, Z의 Shot의 위치를 결정하는 것이 식4에 기술되어 있다.

$$SHOTX(I) = CRX + X(I)/GM_{AP} \text{ or } GM_{LAT} - 4(a)$$

$$SHOTY(I) = CRY + Y(I)/GM_{AP} \text{ or } GM_{LAT} - 4(b)$$

$$SHOTZ(I) = CRZ + Z(I)/GM_{AP} \text{ or } GM_{LAT} - 4(c)$$

여기서  $SHOTX(I), SHOTY(I),$  및  $SHOTZ(I)$ 는 I번째 Shot의 X, Y, Z값을 의미하며,  $CRX, CRY, CRZ$ 는 X, Y, Z의 병변의 중심 좌표를 의미한다.

## 결 과

### 1. 필름 확대율의 수정 및 심부 병변 치료 범위 확대 방법

뇌혈관 조영술용 감마나이프 고정대는 뇌혈관 조영술용 기기에 자체적인 기하학적인 구조상의 문제로 인하여 고정대를 필름쪽에 가깝게 붙이기가 어렵게 되어 있다. 고정대가 필름에 가까우면 가까울수록 필름의 배율이 적어지고 따라서 전후와 측면 필름의 확대율이 적어지기 때문에 좌표의 오차가 작아지므로 병변의 결정에 따른 오차를 줄일 수 있는 매우 중요한 작업이다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 필름의 확대율을 줄이기 위하여 고정대의 변형이 발생되지 않을 최소한의 여유를 남겨 놓은 채 측면(A)과 밑면(B)을 각각 15mm를 잘라 내었다. 그 결과 이 작업 전의 배율이 전후의 경우 1.60, 측면의 경우 1.65 이상 이었던 것이 모두 1.45배 이하로 줄어들어 오차의 한계를 적게 할 수 있었다.

소뇌의 가장 하부에 위치하거나 가장자리 부분에 위

치한 동정백기형을 감마나이프를 이용하여 치료할 경우 Z좌표값이 커지고, 시준기 헬멧의 형태가 반원구 모양이기 때문에 정확한 치료를 하는 것이 어렵거나 불가능하게 된다. 또한 병변의 중심에 또는 그 가까이 중심 좌표가 위치하도록 프레임 고정할 수 없는 경우에는 치료시 많은 어려움이 발생하게 된다. 명목상으로 제공된 치료 가능한 좌표값의 범위를 살펴보면 X축은 60mm에서 160mm까지, Y축은 30mm에서 170mm까지, Z축은 50mm에서 140mm까지를 치료할 수 있는 범위로 나타나고 있으나 사실상은 Z 좌표값이 커지는 경우에는 치료 범위는 줄어들게 되고 더구나 심부나 가장자리에 있는 병변의 치료가 어렵게 된다. 따라서 모든 축에 대한 치료 영역의 최대 범위를 적용할 수 있는 방법을 연구하게 되었다. 치료 범위는 환자에게 프레임을 장착시킬때 이미 정해지게 된다. 따라서 환자에게 프레임을 고정시에 X와 Y축의 중심좌표가 병변 근처로 이동시킬 수 있는 최대 범위까지 이동을 한 후에 Z축의 좌표를 설정시 Z축의 치료 한계 범위( $Z < 50\text{mm}$ )를 넘지않는 상태에서 병변의 위치보다 밑에 중심 좌표가 오도록 설정한다. 이때 Z값의 병변에서의 최소값이 50mm에서 70mm정도가 되도록 프레임을 정착시키면 치료에 가장 적합한 상태로 된다. 이렇게 프레임을 고정시킨 후에 치료 계획용 사진을 촬영할 경우에 또 다른 문제점에 직면하게 된다. 뇌혈관 조영술의 경우는 자기공명 영상 촬영의 좌표계보다는 적용 범위에 있어서 다소 여유는 있으나, 한번 고정후에는 변형된 형태로 사용할 수 없게 되어 좌표계의 위부분에서 환자의 머리 위에 걸릴 수 있게 된다. 이러한 것을 없게 하려면 프레임 고정 시에 좌표계를 미리 프레임에 고정하여 좌표계의 장착이 가능한가 확인을 하고 프레임을 정착하는 것이 중요하다. 따라서 본원에서는 위에서 기술한 문제점을 최소화 하기위하여 Fig. 4의 A부분에 대한 뇌혈관 조영술용 좌표계의 윗면을 사방으로 약 5mm 씩 절단하였다. 그 결과 Z 좌표값이 50mm 근처에서 설정되므로 환자의 머리 윗부와 프레임의 윗부분이 시준기 헬멧에 고정시 시준기 헬멧의 외부로 빠져 나오게 하여 치료 영역을 더 넓게 할 수 있었다.

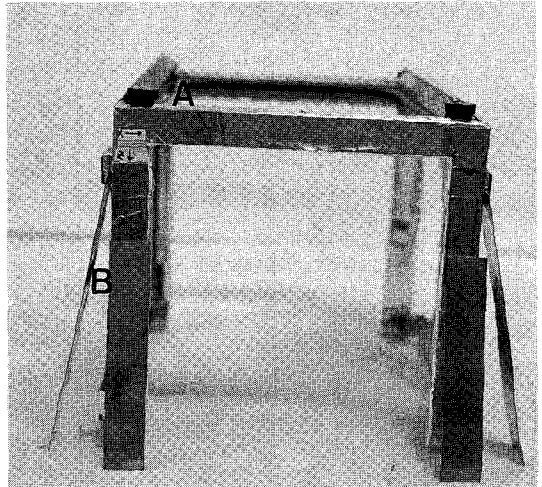


Fig. 4. 심부 및 측면 병변을 치료하기 쉽게하여 좌표계를 변형한 모형(A)과 좌표계의 좌표값의 선명도를 높이기 위해 사용한 구리 필터(B).

## 2. 좌표계의 선명도를 위한 필터와 좌표계의 중심 좌표 수정법

실제 뇌혈관 조영술을 시작하기 전에 사전에 정확성과 양질의 필름을 얻기 위해 일반 X-선을 촬영하게 된다. 촬영한 사진을 자세히 살펴보면 좌표계에 나타난 눈금이 필름상에 잘 나타나지 않아 좌표값을 얻을 수 없게 되거나 또는 좌표계의 중심좌표( $X = 100\text{mm}$ ,  $Y = 100\text{mm}$ ,  $Z = 100\text{mm}$ )의 내측과 외측의 두 확대율간의 불일치로 인하여 실제 치료 계획의 설정시에 좌표계의 중심좌표의 오차로 인한 병변의 중심좌표가 정확치 못하거나, Shot의 위치가 이동되어 나타나는 등의 많은 문제점이 발생하게 된다. 이러한 것을 제거하기 위하여 좌표계의 눈금이 필름상에 정확히 나타나게 하기 위하여 Fig. 4의 B부분에서와 같은 0.5mm 나 1mm의 구리 필터를 이용하여 좌표계의 외부에 1차 촬영에서 선명치 않게 나타난 부분에 고정을 해줌으로써 Fig. 1에서와 같이 선명한 좌표를 얻을 수 있었다.

좌표계의 중심 좌표 ( $X = 100\text{mm}$ ,  $Y = 100\text{mm}$ ,  $Z = 100\text{mm}$ )의 불일치를 수정해 주기 위하여 1차 촬영에서 얻은 필름을 이용하여 X, Y, Z의 100mm, 100mm, 100mm에 대한 큰 확대율과 작은 확대율

간의 오차를 측정후 큰 확대율의 중심좌표 쪽으로 큰 좌표와 작은 좌표간의 오차 값에 약 2배를 한 수치로 이동하여 고정시켜 다시 촬영한다. 이를 2-3 회 정도 수정하여 반복 촬영을 할 경우 종전의 10mm-20mm 이상의 두 중심 좌표간의 오차를 Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같이 1mm-2mm 이내로 줄일 수 있었다. X-선이 발생됨에 따라 X-선의 발생 근처에서의 좌표에 비해 필름 쪽에 가까운 쪽의 좌표가 매우 조금씩 변화를 하게 되며, 따라서 X-선의 발생 부위를 확대율이 큰 좌표 쪽으로 움직여 조사 시에 선원 쪽의 좌표가 많이 수정되어 보정되며 필름 쪽의 경우는 조금 변화하여 두 좌표간의 일치율을 얻을 수 있는 원리이다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 구리 필터를 사용하여 뇌혈관 조영술의 좌표 눈금을 매우 선명하게 볼 수 있으며, A와 B 부분에서 좌표계의 중심좌표가 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서 중심 좌표에서 발생될 수 있는 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

3. 선행 치료 계획용 프로그램의 개발

감마나이프의 치료 계획에 KULA 프로그램이 제공되어 사용되고 있으나, 동정맥기형 환자를 치료 시에는 실제 이 단계까지 들어가기 이전에 선행으로 계산을 해야 하는 복잡한 인자들이 너무나 많이 있다. 종전에는 이들 인자를 수동으로 계산기를 통하여 일일이 계산하였으나, 시간이 너무나 오래 소요되고 또한 여러 가지 인자들의 부정확성으로 인한 오차의 발생이 많기 때문에 이들 인자들을 빠르고 정확하게 계산할 수 있고 오차를 줄일수 있는 선행 치료 계획용의 새로운 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 작성에 사용된 식들은 앞에서 기술한 각 식들을 사용하였으며, 전체적인 프로그램의 흐름도가 Fig. 5에 나타나 있다. 프로그램의 이름은 "GKANGIO"이라고 명명하였으며, 이 프로그램의 개발로 실제 치료 계획 시간이 20분-30분 이상 절약되었고, 선량 중심 좌표의 계산에 있어서는 종전의 방식에 비해 1차원 선행 방식식의 정점을 계산하여 구하는 것이기 때문에 오차의 발생이 없이 손쉽고, 빠르게 계산할 수 있었다. 또한 프로그램의 실행에 따른 여러 제한들이 표1에 나타나 있다. 표1에서 보는 것과 같이 개발된 프로그램은 적은 기억용량에 실행 시간이 수초(2초-5초) 정도의 빠른 계산을 할 수 있었다. 그리고 이론식에 의한 정확한

Table 1. GKANGIO 프로그램의 실행 결과의 제한

Total Lines:380 Lines
Run Time:2.97 seconds
Dynamic Memory:688 pages

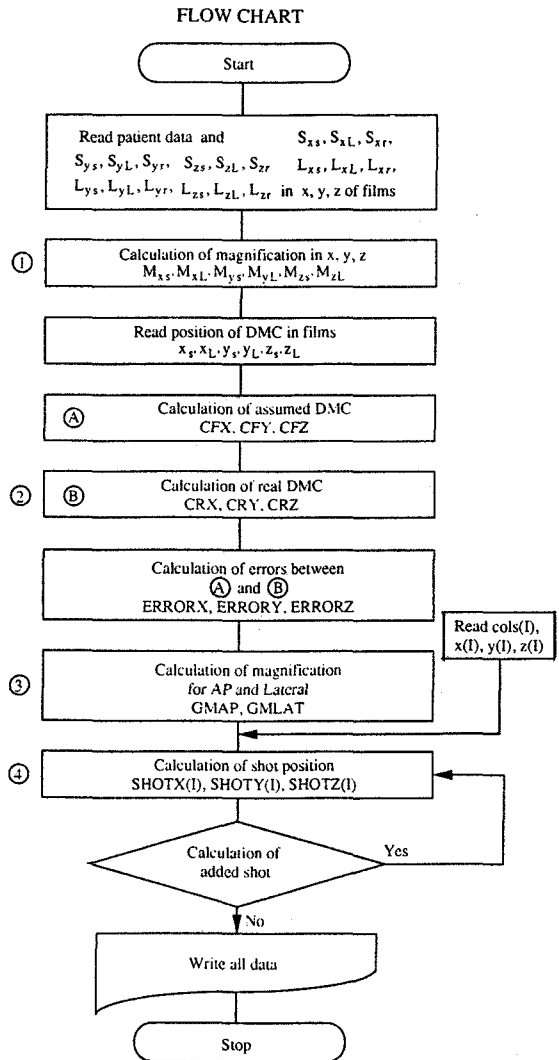


Fig. 5. 선행 치료 계획용 프로그램 작성에 사용된 흐름도.

병변의 중심좌표를 얻을 수 있었다.

고찰 및 결론

3차원 뇌정위 방사선 수술은 선천성 뇌동정맥기형

과 여러 종류의 뇌종양 및 기능성 질환등에 적용될 수 있다. 전세계적으로 동정맥기형의 치료가 56%정도로 가장 많이 시행되었고 치료 결과도 87%이상에서 매우 좋은 결과를 보여주고 있다<sup>1,9)</sup>. 본원에서는 1992년 3월부터 감마나이프를 이용한 뇌정위 방사선 수술로 27개월간 200명의 환자를 치료하였으며 그 중에서 뇌동정맥기형 환자의 수는 39명이었다.

뇌동정맥기형이 방사선 수술의 많은 영역을 차지하고 있음에도 불구하고 자기공명영상등을 이용한 뇌종양이나 뇌암등의 치료에 비하면 정확도에 있어서 많은 문제점을 수반하게 된다. 이러한 부정확한 인자들을 줄이기 위하여 여러 연구들이 진행되었고 진행중에 있다<sup>6,7,10-14)</sup>. 또한 치료 결과에 대한 임상적 분석을 여러 문헌을 통하여 보고하고 있다<sup>15)</sup>.

본 연구에서도 뇌동정맥 기형의 보다 정확한 치료 계획을 수립하기 위하여 관련 장비들을 변형하거나 새로운 프로그램의 개발등을 통하여 정확도를 높이는 방법을 모색하였다. 시스템의 변형으로 인한 시스템 자체의 오차가 발생되지 않도록 최소한의 변형만을 실시하였다.

필름의 확대율을 줄이기 위하여 고정대를 변형시킨 결과 변형 전의 배율이 전후와 측면 모두에서 1.45배 이하로 줄어들어 오차의 한계를 적게 할 수 있었다. 또한 심부의 병소와 가장자리의 병소를 치료할 경우에 프레임을 고정후 좌표계를 장착할 때나 치료계획이 끝난 상태에서 환자를 치료하는 단계에서 감마나이프의 구조적인 형태상의 문제에 따라 치료를 하지 못하게 되는 경우가 발생하게 된다. 이때에는 Z-좌표를 될 수 있는한 적게하여 적용하는 경우 위의 문제점을 해결할 수 있으며 이를 위하여 본원에서는 뇌혈관 조영술용 좌표계의 뒷면을 사방으로 약 5mm 씩 절단하였다. 그 결과 Z-좌표값을 작게 하여 환자의 머리 부위를 시준기 헬멧에 고정시 밖으로 빠져 나오게 하여 치료 영역을 더 넓게 하였다. 필름 내의 좌표의 선명도를 높이기 위하여 0.5mm나 1mm의 구리 필터를 사용함으로써 선명한 농도의 좌표계 눈금을 얻을 수 있었다. 그리고 좌표계의 중심 좌표 (100mm, 100mm, 100mm)의 내측과 외측의 두 확대율간의 불일치를 줄이기 위하여 2-3회 정도의 반복 촬영을 통하여 종전의 10mm-20mm이상의 내외측 두 중심 좌표 간의 오차를 1mm-2mm 이내로 줄일 수 있었다. 실제 치

료 계획을 수행하기 전의 전 과정을 이행할 수 있는 프로그램인 "GKANGIO"의 개발로 실제 치료 계획 시간이 20분-30분 정도 절약되었으며, 선량 중심 좌표의 계산에 있어서는 Fig. 2와 같은 차트를 이용한 종전의 수동 방식에 비해 이론상의 1차원 선형 방정식의 정점을 계산하여 구하는 것이기 때문에 오차의 발생이 없이 손쉽고, 빠르게 계산할 수 있었다.

신경외과 영역의 질환에 대한 치료시 뇌의 심부에 위치하는 경우 고식적인 뇌 수술 보다는 위험성 및 합병증 발생을 줄이기 위해 적용 대상에 따라 뇌정위 방사선 수술의 시행이 더 많이 되리라고 기대된다. 향후 개발된 프로그램을 더 수정 보완하여 보다 편리하고 정확하며 빠른 계산을 할 수 있도록 할 것이며, 좌표계의 중심좌표의 내측과 외측의 불일치를 일치시키는 과정을 실제 이론적으로 유도하여 증명할 것이며, 자기공명영상 및 컴퓨터영상을 이용한 치료계획에도 적용할 수 있도록 할 것이다. 또한 변형된 시스템의 정확도를 더 높일 수 있도록 지속적인 연구를 실시할 것이다.

## REFERENCES

1. **Leksell DG:** Stereotactic radiosurgery—present status and future trends. *Neurological Research*, 1987; 9:60-68
2. **Kelly PJ:** Gamma knife technique. Harvard Medical School, 1990; Kelly 1-7
3. **Leksell L:** Occasional Review; Stereotactic radiosurgery, *J Neurosurg* 1983; 46:797
4. **Hirschfeld Alan D:** Stereotactic radiosurgery part I: Types of radiation.
5. **Flickinger JC, Lunsford LD, Wu A, et al.:** Treatment planning for gamma knife radiosurgery with multiple isocenters. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1990; 18:1495-1501
6. **Wu A, Flickinger JC, Kalend AM, et al.:** Exact determination of the magnification factor for target lesions in a stereotatic frame. *Med Phys* 1991; 18:804-805
7. **Metz CE, Fencil LE:** Determination of three-dimensional structure in biplane radiography without prior knowledge of the relationship between the two views: Theory. *Med Phys* 1989; 16:45-51

8. **Serago CF, Lewin AA, Houdek PV, et al.:** Radiosurgery target point alignment errors detected with portal film verification. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1992; 24:777-780
9. **Lunsford LD, Kondziolka D, Flickinger JC, et al.:** Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations of the brain. *J Neurosurg* 1991; 75:512-524
10. **Noorbehesht B, Fabrikant JI, Enzmann DR:** Size determination of supratentorial arteriovenous malformations by MR, CT and Angio. *Neuroradiology* 1987; 29:512-51
11. **Flickinger JC, Lunsford LD, Kondziolka D, et al.:** Radiosurgery and brain tolerance: an analysis of neurodiagnostic imaging changes after gamma knife radiosurgery for arteriovenous malformations. *Int J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 1992; 23:19-26
12. **Guo WY, Lindquist C, Karlsson B, et al.:** Gamma knife surgery of cerebral arteriovenous malformations: serial MR imaging studies after radiosurgery. *Int J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 1993; 25:315-323
13. **Petereit D, Mehta M, Turski P, et al.:** Treatment of arteriovenous malformations with stereotactic radiosurgery employing both magnetic resonance angiography and standard angiography as a database. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1993; 25:309-313
14. **Maitz AH, Wu A, Kalend AM, et al.:** Quality assurance protocol for gamma knife radiosurgery. *AAPM Abstract, 1990(St.Louis) Med Phys* 1990; 17:531(K1)
15. **Flickinger JC:** The integrated logistic formula and prediction of complications from radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 17: 879-885