

입체적횡다중회전조사를 병합한 방사선수술의 새로운 접근 : 포톤 나이프

계명대학교 의과대학 치료방사선과학교실

최태진 · 김진희 · 김옥배

= Abstract =

A New Approach with Combined Stereotactic Trans-multiarc Beams for Radiosurgery Based on the Linear Accelerator : Photon Knife

Tae Jin Choi, Ph.D., Jin Hee Kim, M.D. and Ok Bae Kim, M.D.

Department of Therapeutic Radiology, School of Medicine, Keimyung University

Purpose : To get an accute steepness of dose gradients at outside the target volume in intracranial lesion and a less limitation of beam selection avoiding the high dose at normal brain tissue, this Photon Knife Radiosurgery System was developed in order to provide the three-dimensional dose distribution through the reconstruction of CT scan and the combined stereotactic trans-multiarc beam mode based on linear accelerator photon beam.

Materials and Methods : This stereotactic radiosurgery, Photon Knife based on linear accelerator photon beam was provided the non-coplanar multiarc and trans-multiarc irradiations. The stereotactic trans-multiarc beam mode can be obtained from the patient position in decubitus. This study has provided the 3-dimensional isodose curve and anatomical structures with the surface rendering technique.

The dose distribution from the combined two trans-multiarcs (2M 2TM) was compared to that of four non-coplanar multiarcs (4M) with same collimator size of 25 mm in a diameter and total gantry movements.

Results : In this study, it shows that the dose distributions of stereotactic beam mode are significantly depended on the selected couch and gantry angle in same collimator size. Practical dose distribution of combined stereotactic trans-multiarc beam has shown a more small rim thickness than that of the non-coplanar multiarc beam mode in axial, sagittal and coronal plane in our study.

3-Dimensional dose line displayed with surface rendering of irregular target shape is helpful to determine the target dose and to predict the prognosis in follow-up radiosurgery.

Conclusions : 3-Dimensional dose line displayed with surface rendering of irregular target shape is essential in stereotactic radiosurgery.

This combined stereotactic trans-multiarc beam has shown a less limitation of the selection couch and gantry beam angles for the target surrounding critical organs.

It has shown that the dose distribution of combined trans-multiarc beam greatly depended on the couch and gantry angles.

In our experiments, the absorbed dose has been decreased to 27 % / mm in maximum at the interval of 50 % to 80 % of isodose line.

Key Words : Stereotactic radiosurgery, Trans-multiarc beam, Linear accelerator

서 론

방사선수술은 일시에 다량의 방사선을 병소표적에 조사하여 병변을 소멸 또는 진행중지를 유발하고 주위 정상조직의 손상을 극히 줄여, 두개부의 절개없이 수술효과를 얻는 치료방법이다.

현재 통용되고 있는 방사선수술법은 사이클로트론의 양성자선에 의한 Bragg peak 를 이용하는 방법¹⁾, 코발트-60 선원을 고정집속배치한 감마나이프²⁾와 전자가속에 의한 선형가속기의 광자선을 이용한 비공면 다중회전조사 (Non-coplanar multiarc beam) 등이 있다³⁾.

최근 선형가속기로 비공면회전조사를 이용한 방사선수술이 날로 증가하고 있으며⁴⁾ 비공면 회전조사에는 환자의 체위변화와 동시에 선속방향을 이동하는 다이나믹방사선수술^{5, 6)} 과 선형가속기의 지지체를 임의의 각도에 고정하고 환자고정대를 회전하는 세차조사법⁷⁾이 이용되고 있으나 이들은 선형가속기의 치료대이외 별도의 환자고정장치들이 요구된다.

Phillips 등⁸⁾은 방사선종류 및 기하학적 조사방법의 차이에 따른 선량분포에 있어서 선형가속기와 감마나이프의 선량-용적그래프 (dose-volume histogram) 간 차이가 거의 없음을 발표한 바 있다.

한편, 모든 방사선수술방법은 방사선이 병변표적을 중심으로 하여 입체적으로 조사가 이루어지고 공면평행선속이 없으므로 표적중심결정과 입체적 장기모양과 선량분포를 나타내는 소프트웨어 및 환부의 고정용 기구가 매우 중요하다. 특히 대부분의 영상 진단은 2차원평면영상으로 이루어지므로 평면상에 나타난 장기 및 표적을 입체적으로 표현할 수 있어야 한다. 이것은 입체영상분석을 통한 병변의 크기와 선속방향 및 선량분포가 결정되어지기 때문이다.

본 연구는 간편한 환자고정기구를 제작하여 다중입

체회전조사와 횡다중입체회전조사를 시행할 수 있게 하여⁹⁾, 방사선수술방법의 새로운 접근을 시도하였으며, X 선의 컴퓨터단층영상 (Computed Tomogram) 영상을 이용한 방사선수술선량계획을 지원하여 포톤나이프 (Photon knife)라 명명하고 선량특성을 발표하고자 한다.

입체적 다중회전조사는 선속의 종적이동에 의해 표적을 중심으로 일자형의 궤도상에서 회전조사가 이루어지는 데 반해 횡다중회전조사를 병합한 선속이동은 표적을 중심으로 종횡으로 조사되어져 회전조사각이 거의 두배가까이 증가하게 되며, 치료대와 선원회전각을 적절히 선택하여 표적을 중심으로 사각궤도상의 회전조사를 시행하게 된다. 비공면 횡다중회전 조사에 의한 방사선수술은 표적 주위의 치명정상장기에 대해 선속을 종횡으로 변경할 수 있게 하여 선속선택제한을 줄였으며, 횡다중회전조사를 병합한 경우 기울기의 변경이 비교적 다양한 선량분포를 얻을 수 있음을 보이고, 다중회전조사와 횡다중회전조사를 병용한 선량 분포의 특징을 포톤나이프 소프트웨어를 통해 발표하고자 한다.

대상 및 방법

1. 구성장비 및 기구

본대학에서 개발된 방사선수술기구 포톤나이프는 선형가속기 (ML-15MDX, Mitsubishi)의 6 MV 광자선을 이용하여 조사되며, 포톤나이프의 구성은 Fig. 1 과 같이 뇌정위수술 기구인 두부고정링과 고정핀, 컴퓨터단층영상의 표적을 3차원으로 해석하는 표적위치 결정기구 (CT localizer), 표적과 방사선선속을 일치시키는 위치결정기구 (positioner), 콜리메이터와 고정대, 전산화단층영상자료를 재구성하여 방사선수술을 위한 입체선량계획용 소프트웨어로 구성되어 있다.

본 연구에서 개발된 뇌정위방사선수술기구는 신경

윗과적 두개부 조직검사에 이용되는 뇌경위수술기구와 호환성이 있도록 구성되어 있다.

두개부 고정링의 고정대는 포톤나이프로조사방식에서 채택한 환자체위의 변경이 용이하게 구성되어 있으며, 양와위에서 다중회전을 시행한 다음, 우와위로 이동하여 횡다중회전조사가 이루어지도록 체축과 동일한 회

전축을 가지며, 치료대에 고정했을 때 치료대의 힘에 대한 보정이 가능하고, 체위 회전후 좌표축과 일치토록 되어 있으며, 좌우이동이 가능하여 회전조사시 선원지지체와의 충돌을 방지하도록 하였다.

콜리메이터의 납두께는 8.5 반가층에 해당하는 110 mm 로 일차선속을 0.3 % 까지 차폐하는 효과를 갖도록 하였으며, 물리적반응을 줄이기 위해 구경은 기하학적으로 빔의 확산과 일치하게 되어 있다.

방사선수술계획용 소프트웨어는 모델 VAX 4000-90 워크스테이션에서 실행되며, 선량계산은 두개부의 CT 영상 (SOMARIS,SIEMENS) 자료를 광디스크 (MOD) 에 저장이송하고 Fig. 2와 같이 화상처리를 시행하고, 영상선택과 표적윤곽, 표적위치의 선정을 통해 3차원적 위치해석이 자동으로 시행되며, 이 때 전산화단층영상의 촬영시 비직교성에 대해서는 교정된 좌표가 출력되도록 하였다¹⁰⁾.

표적에 대한 콜리메이터 직경의 선정은 표적이 있는 전 영상의 윤곽을 입력하고, 입체해부학적구조가 시각방향에서 표적의 모양과 회전조사중심이 결정되는 Beam's Eye View 를 통해 이루어 지게 하였다.

2. 입체선량계산

비공면다중회전조사는 가속기지지체의 회전축과 치료대의 회전축에 표적의 중심을 일치시켜 Fig. 3 과 같이 치료대의 회전면 (XY 면) 인 관상면에 정사영

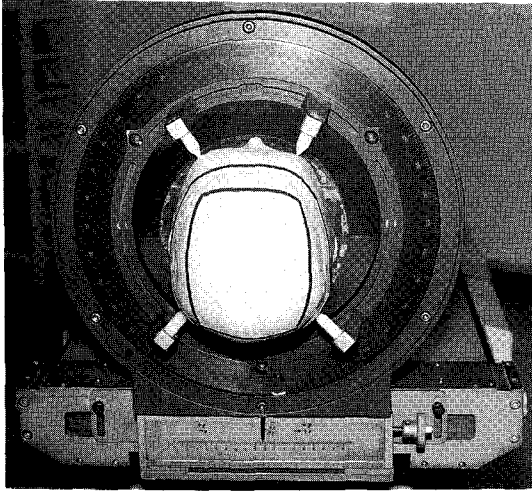


Fig. 1. Design of the combined trans-multiarcs for radiosurgery based on linear accelerator photon beam.

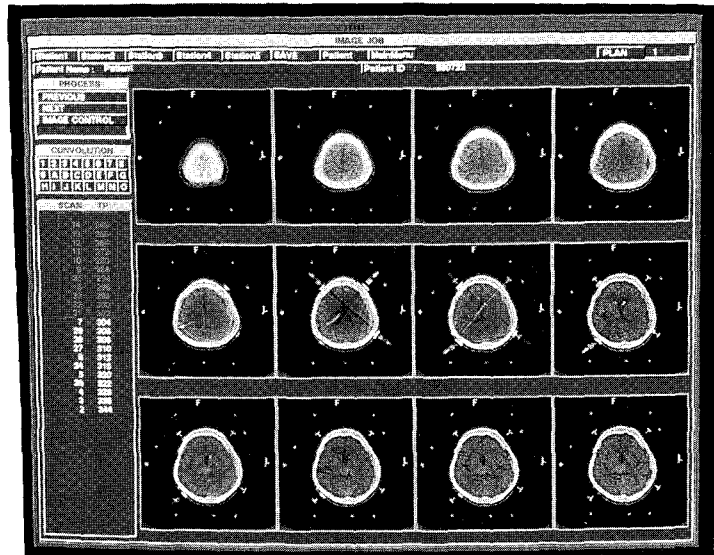


Fig. 2. Twelve-panel display of an reconstructed axial views of the computed tomogram.

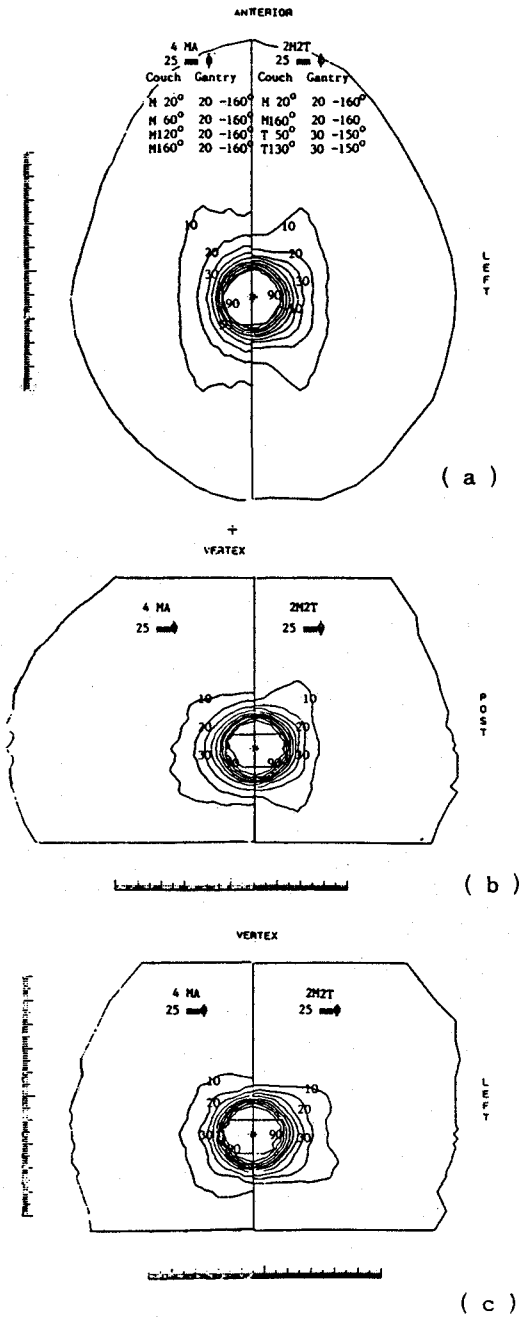


Fig. 6. Isodose curves in the three main plane through the target point. Left side for 4 multiarc beams and right for 2 multiarc with same collimator size 25 mm in a diameter. (a) for axial. (b) for sagittal and (c) for coronal view.

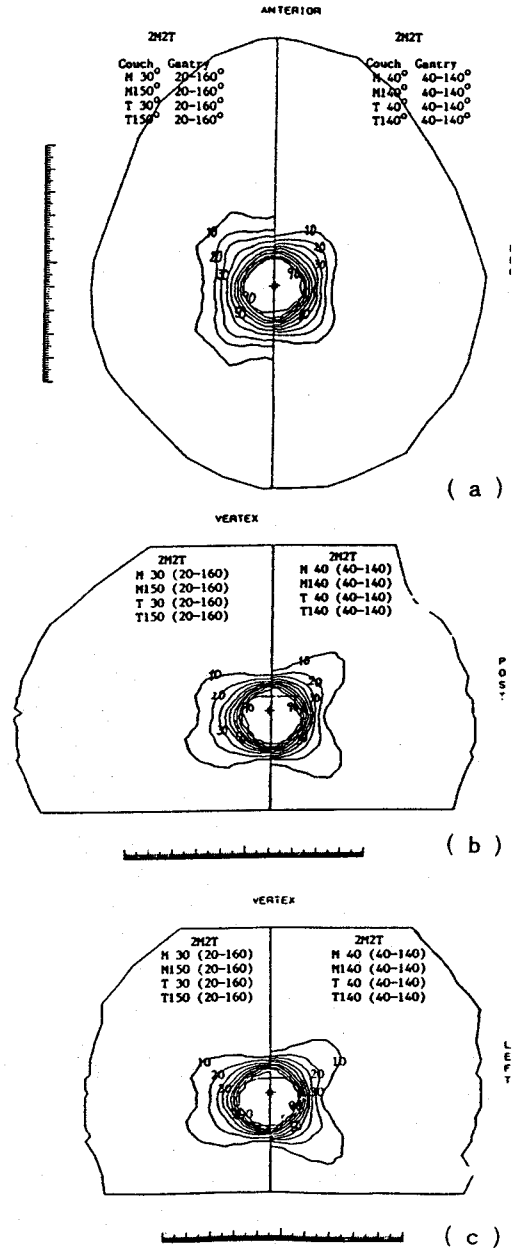


Fig. 7. Isodose curves from different couch angle and gantry movements presented in the three main plane through the target lesion with combined trans-multiarc beams. (a) for axial, (b) for sagittal and (c) for coronal view.

였으며, 이 때 다중회전조사는 치료대회전각을 20 도, 160 도에서 각각 빔 회전각 20 도에서 160 도 까지 회전조사를 하고, 병용횡다중회전조사는 앙와위시 20 도, 160 도와 우와위시 50 도, 130 도의 치료대회전각에서 빔회전각 20 도에서 160 도로 회전조사를 시행하여 Fig. 7 과 같이 상호 비교하였다.

5. Dose Volume Histogram (DVH)

선량-용적표 (DVH)는 선량계획시 선량과 용적관계를 정확히 파악하여 선량계획을 비교할 목적으로 자주 이용된다.

포톤나이프의 소프트웨어는 누적 DVH 를 Fig 8 과 같이 나타낸다. 횡축은 전회전조사에 의한 선량값의 백분율을 의미하며, 종축은 각 선량백분율이 차지하는 용적(ml)을 나타낸다. 이 선량-용적표에서 횡축의 선

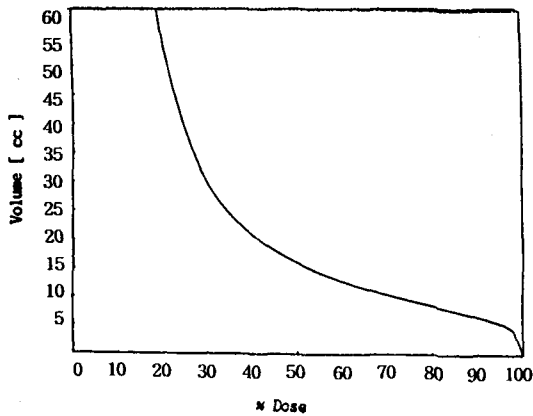


Fig. 8. Display the integral dose-volume histogram for field size 25 mm in a diameter with 2 multiarcs combined 2 trans-multiarc beams.

량백분율이 보이는 용적값은 3차원선량계산으로부터 각 전산화영상단면에 표현되는 등선량곡선의 내부 면적을 구하고 영상절편의 두께와 간격을 곱해 구하였다.

결 과

본 연구실에서 개발된 포톤나이프 방사선수술계획의 특징은 표적을 중심으로 비공면 다중회전조사와 횡다중입체회전조사를 병용하여 방사선수술을 할 수 있게 한 것이다. 횡다중 회전조사를 병용 시행하면 표적을 중심으로 비공면입체회전각이 증가하게 되어, 빔의 회전각이나 치료대 설정각의 선택폭이 넓어지게 되며 곧 표적과 주위 정상치명장기에 도달되는 선량의 분포가 다양하게 됨을 의미한다.

포톤나이프 방사선수술프로그램은 Fig. 2 와 같이 3차원선량 및 영상을 재현하기 위해 약 25~40 매회의 영상을 입력한다. 임상에 이용할 때 스캔은 병변하단 30 mm 까지는 8 mm 간격으로, 표적상하단 30 mm 범위는 3 mm 간격으로 스캔하며, 두정부까지는 8 mm 간격으로 스캔한 영상자료를 광디스크 (SCSI II, MOD) 에 저장이송하고 화상처리를 통해 방사선수술 계획이 이루어진다.

Fig. 4a 는 포톤나이프 조사방법중 다중 및 횡다중회전조사법에 의해 직경 25 mm 콜리메이터로 표적을 조사한 것으로, 다중회전조사는 치료대 방위각 50 도, 130 도와 선원은 20도 - 160 도 회전조사를 시행하였으며, 횡다중회전조사의 치료대 각은 50 도, 130 도 설정에서 선원이동은 20 -160 도 회전조사한 환부의 전산화단층영상에 90 % 에서 10 % 등선량분포를 나타내었으며, Fig. 4b 는 시상면의 선량분포를 나타낸다.

Table 1. Distance in mm of interval between two Isodose Curves Derived from Photon Knife Radiosurgery System (Collimator 25 mm in a Diameter, Gantry Angle 20-160°)

couch angle (degree)	Plane	Interval of the isodose curve				
		90-50%	90-20%	90-10%	80-50%	80-30%
*M 30, 50 *T 30, 150	Axi.	5.1/6.3	12.0/18.0	17.9/23.8	4.0/5.0	8.2/8.5
	Sag.	2.2/4.5	4.7/13.0	6.0/24.2	1.5/3.5	2.5/7.5
	Cor.	2.0/5.0	4.6/12.5	6.0/23.5	1.5/4.0	2.5/8.0
M 40, 140 T 40, 140	Axi.	4.0/5.0	9.0/13.8	15.1/18.5	3.0/3.0	6.0/7.0
	Sag.	2.2/4.0	5.2/13.2	7.3/24.0	2.0/3.0	4.0/7.0
	Cor.	2.0/3.0	5.0/14.0	8.0/24.0	1.1/2.0	3.7/7.5

* M represents the multiarc and numeric couch angle
* T for trans-multiarc and couch angle

7. McGinley PH, Butker EK, Crocker R, et al. A patient rotator for stereotactic radiosurgery. Phys Med Biol 1990; 35:649-657
8. Phillips MH, Frankel KA, Lyman JT, et al. Comparison of different radiation types and irradiation geometries in stereotactic radiosurgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990; 18:211-220
9. Choi TJ, Kim OB. Dose characteristics of stereotactic radiosurgery in high energy linear accelerator photon beam. J Korean Soc Ther Radiol 1992; 10(2):137-145
10. Choi TJ, Kim OB, Son EI. Determination of target position with BRW stereotactic frame in non-orthogonal CT scans. Korean J Med Phys 1992; 3(1):53-62
11. 최태진, 김옥배, 김영훈 외. 선형가속기의 6 MVX선에 대한 소형조사면의 선량 측정. 대한치료방사선 과학회지 1989; 7(2):287-291
12. Kirpes BB, Schlegel W, Boesecke R, et al. Display of organs and isodoses as shaded 3-D objects for 3-D therapy planning. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1987; 13:135-140

= 국문초록 =

입체적횡다중회전조사를 병합한 방사선수술의 새로운 접근: 포톤나이프

계명대학교 의과대학 치료방사선과학교실

최태진 · 김진희 · 김옥배

목적 : 선형가속기의 광자선을 이용한 두개내 소병변의 방사선수술에서 다중회전조사와 횡다중회전조사를 병용한 방사선 수술방법을 개발하고, 컴퓨터단층영상을 재구성한 방사선수술계획을 통해 선량분포를 비교하여 병변이외 정상조직의 선량을 줄이기 위한 선량변수를 구하였다.

대상 및 방법 : 선형가속기 6 MV 광자선을 이용하여 치료대 각과 선원지체 회전 및 환자 체위변위를 이용한 입체적 다중 및 횡다중회전조사를 조사하여 선량분포를 비교하였다.

입체적 선량분포와 횡단면, 시상면 및 관상면 치료대 영상재구성의 선량분포는 본 대학에서 개발한 방사선수술기구 및 소프트웨어 (Photon Knife)를 통해 이루어졌다.

입체적 다중회전조사에 의해 얻은 선량은 치료대 각이 20, 60, 120, 160 도, 각각의 선원지체 회전각은 20-160도이며, 다중회전조사의 치료대각 30, 150도와 횡다중회전조사의 치료대각 30, 150도에 선원 회전각 20-160도를 입체조사하여 비교하였다.

결과 : 선형가속기를 이용한 방사선수술선량분포는 동일 콜리메이터에서도 치료대와 선원지체 각에 따라 크게 변하였다. 입체적횡다중회전조사를 시행한 경우 표적을 중심으로 전후방향의 선량분포는 다중회전조사만을 사용한 경우보다 선량기울기가 증가하여 정상뇌조직의 손상을 더 감소시킬 수 있음을 알 수 있었으며, 병변주위의 치명장기 위치에 따라 방사선 회전 방향을 적절히 정할 수 있다.

방사선수술의 입체선량과 주위 장기 및 표적의 On-Target 입체화는 방사선수술의 정확성, 복수개의 표적중심결정과 주위정상장기의 선량포함범위를 비교적 정확하게 보여줌을 알 수 있다.

결론 : 방사선수술선량계획의 입체화는 선량과 표적 및 주위장기의 선량범위를 입체적으로 정할 뿐만 아니라, 표적의 모양이 불규칙형일 때는 복수개의 표적중심결정에 필수적임을 알 수 있었다.

다중회전조사와 횡다중회전조사를 병합한 방사선수술은 표적주위의 치명정상장기의 손상을 줄이기 위해 총회전각의 변화없이 치명장기에 도달될 선량을 줄일 수 있으며, 25 mm 직경의 콜리메이터를 사용한 선량분포는 80-50 %의 간격이 1.1~3.0 mm, 90~50 %는 2.0~3.0 mm를 나타내었다.