

## Comparative Analysis of Treatment Planning System and Dose Distribution of Gamma knife Perfexion™ using EBT-3 Film

Seongjin Jin,<sup>1</sup> Seongjin Kim,<sup>2</sup> Weonseop Seo,<sup>3</sup> Beongik Hur<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup>Gamma-knife center, Haeundae Paik Hospital, Inje University, Busan, Korea

<sup>2</sup>Gamma-knife center, Pusan National University Yangsan Hospital, Kyungnam, Korea

<sup>3</sup>Department of Neurosurgery, Kyung Hee University Hospital, Seoul, Korea

<sup>4</sup>Department of Neurosurgery, Pusan National University Hospital, Busan, Korea

Received: September 21, 2017. Revised: November 23, 2017. Accepted: November 30, 2017

### ABSTRACT

The purpose of this study is to measure the 3 dimensional dose distribution of Gamma knife Perfexion™, make a comparative analysis of the result and establish the measurement method for the procedures using EBT3 film.

The dose distributions of the Gamma knife Perfexion™ installed in two hospitals were evaluated in accuracy and precision. For accuracy, the difference between the mechanical center axis and the dose center axis was assessed on a 4 mm collimator. The allowed difference in accuracy is within 0.3 mm and it was measured as 0.098 mm, 0.195 mm for A hospital and 0.229 mm, and 0.223 mm for B hospital. For precision the difference between the FWHM(Full Width at Half Maximum) of Gamma Plan and measurement in the 4, 8, and 16 mm collimators was calculated. The allowed difference in precision is less than  $\pm 1$  mm. The value of the hospital A was  $-0.283 \sim 0.583$  mm, and the hospital B was  $-0.857 \sim 0.810$  mm.

When analyzing the dose distributions using the image-j program, it is necessary to establish a clearer reference point of the measurement point, and it is considered that the comparison of the dose distribution should be performed in actual treatment irradiation dose with a high dose usable film.

Keyword: Gamma knife Perfexion™, EBT3 Film, Image-j Program, Dose Distribution

### I. INTRODUCTION

1967년 스웨덴의 렉셀(Lars Leksell)교수에 의하여 정위 방사선 수술(Stereotactic Radiosurgery)의 개념이 도입된 후 1990년대 감마나이프 모델 B의 개발과 함께 컴퓨터 워크스테이션을 이용한 치료계획 프로그램인 감마플랜(Gamma plsn)이 개발되고, 감마나이프 3세대 모델 B와 4세대 C와, 4C를 거쳐 5세대인 감마나이프 퍼펙션(Perfexion™) 모델로 발전되었으며, 현재 콘빔 시티(cone-beam CT)를 장착하여 분할조사가 가능한 6세대 아이콘(ICON™) 모델까지 발전되었다.<sup>[1,2]</sup>

감마나이프 방사선수술은 고선량을 한번에 조사하게 되며 수술 절차는 정위기구의 고정, 영상획득, 치료계획, 방사선 조사의 4 단계로 일반적으로 치료 과정이 하루에 끝나게 된다. 일회 고선량의 방사선을 조사하기 때문에 감마나이프 방사선수술 준비와 치료 과정에서 환자의 안전과 정밀한 치료 시스템을 유지하는 것이 감마나이프 방사선수술에 있어서 무엇보다 중요한 과제이므로 정확한 치료 계획 과정과 정밀한 치료시스템의 유지를 위하여 정기적인 정도관리가 필수적으로 이루어져야 한다.<sup>[3]</sup> 감마나이프에서 표적용적은 삼차원적으로 정확하게 정의되어야 하고 선량분포가 표적용적과

\* Corresponding: Author: Beongik Hur

E-mail: bihur125@gmail.com

Tel: +82-10-4550-4841

허용오차 내에서 일치하여야 한다. 이러한 감마나이프 방사선수술 계획 시에는 방사선수술의 선량 분포를 얻는데 사용되는 삼차원 수식의 정확도와 신뢰도는 실제 측정에 의한 확인의 과정이 반드시 필요하다.<sup>[4,5]</sup>

정확한 방사선 조사부위 및 선량의 확인을 위하여 사용되어지는 검출체(detector)는 필름(film), 열형광선량계(TLD), 전리함(ionozation chamber)를 이용하는 방법이 사용되고 있다. 필름을 이용한 선량 측정은 2차원적 선량 정보를 제공하여 등선량곡선 분포를 나타낼 수 있으며<sup>[6]</sup>, 2004년 일반적인 방사선 치료 처방 선량에 적합한 라디오크로믹(Radiochromic) EBT(External Beam Therapy) 필름을 International Specialty Products (Wayne, NJ, USA)가 발표하고 2009년 합성 고분자를 포함하는 Gafchromic EBT2 필름으로 대체되었고, 2011년부터 3세대 EBT3 필름을 생산하고 있다.<sup>[7]</sup>

EBT3 필름은 방사선 조사 이후 후처리 과정 및 암실 작업이 필요 없고, 공간 분해능이 높고, 에너지 의존성이 낮은 장점을 가지고 있다. 사용가능한 선량 범위는 0.1~20 Gy이며 IMRT, VMAT 등에 사용 시 0.2~10 Gy의 범위가 가장 최적 범위이다. 에너지는 100 keV에서 MV까지 사용 가능하다.<sup>[8]</sup> EBT3 필름은 근접치료(Brachy therapy), 외부 방사선 치료(External beam Radiotherapy) 및 정위 방사선 수술(Stereotactic Radiosurgery)의 선량측정에 적용될 수 있으며, 코발트 60 치료기와 감마나이프 방사선 수술에 적용되어 적합하다고 보고되었다.<sup>[9]</sup>

국내 치료용 방사선기기는 의료분야의 방사선안전 관리에 관한 기술기준 원자력안전위원회 고시 제2015-005호<sup>[10]</sup>에 따라 품질관리가 이루어져야 한다. 감마나이프의 경우 연간 점검 항목 중 방사선/기계적 중심축 일치도  $\pm 0.3$  mm, 선량분포는 50%선  $\pm 1$  mm 이하를 유지하여야 한다. 본 연구에서는 EBT3 필름을 이용하여 부산, 경남 2개 병원에 설치된 감마나이프 퍼펙션 모델의 3차원적인 선량분포 측정하고 비교 분석하여 선량계산의 정확성과 공간적 오차를 비교하여 측정방법을 확립하고 나아가 치료 계획과의 일치성 평가의 기초자료로 사용하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 연구 재료 및 방법

본 연구는 부산, 경남 소재 A, B 2개 종합병원에 설치된 감마나이프 퍼펙션 모델의 선량 분포를 2명의 연구자에 의해 EBT3 필름을 이용하여 기계적인 중심축과 선량중심축의 일치도(Accuracy)를 평가하고 4, 8, 16 mm 콜리메터(collimater) 각각의 x, y, z 3차원면에서의 반치폭(FWHM : Full Width at Half Maximum)을 평가하고자 한다.

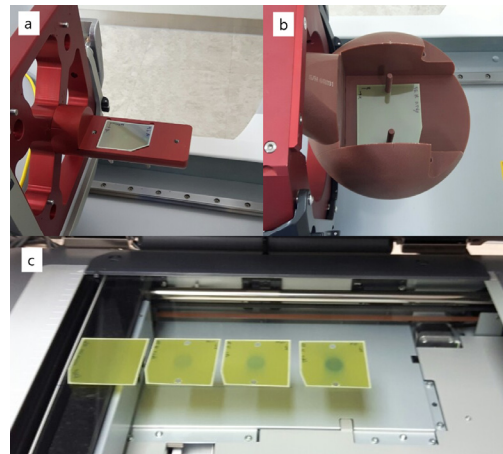


Fig. 1. Phantom, film and scanner. (a. Accuracy Phantom & film, b. Solid-water Phantom & film, c. Epson Scanner).

정확도(Accuracy) 평가 전용 팬텀(ELEKTA, Sweden)을 이용하여 Fig. 1의 a 중심에 필름을 위치시키고 기계적 중심에 장착되어있는 핀을 이용하여 마킹 후 4 mm 콜리메터로 5 Gy 조사하고 x, y, z 면을 각각 분석한다. 방사선이 조사된 필름은 스캐너(Epson, Expression 11000 XL, USA)을 이용하여 24bit 컬러, 600 dpi의 조건으로 3번 스캔 후 이미지-제이(Image J, 64 bit 1.6.0 ver) 프로그램을 이용하여 red channel 이미지를 분석하였다. 기계적 중심과 선량 중심과의 차이는 x, y, z면의 기계적 중심으로부터 반치폭을 측정하여 inch값을 mm로 환산 후 양측 차이값의 1/2을 각각  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ 로 나타내고 전체 오차에 대한 표준편차  $\delta$ 를 구하였다. x-z면과 y-z면에 조사된 필름을 각각 3번 스캔한 필름의 결과를 분석함으로  $\Delta x$ 값과  $\Delta y$ 값은 3번,  $\Delta z$

값은 6번 나타나게 된다. 표준편차는 각 값의 평균의 제곱을 합하여 아래 식 (1)과 같다.

$$\delta = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (1)$$

정밀도(Precision)는 반치폭 평가를 이용한다. Fig. 1의 b 와 같이 고체-물 팬텀 (Solid Water Phantom, ELEKTA, Sweden)의 x-z 혹은 x-y 방향 중 한 방향을 선택한 후, 중심면에 8장의 필름을 16 mm 콜리메터로 각각 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 Gy를 조사하고 스캔 후 이미지-제이(Image J, 64 bit 1.6.0 ver) 프로그램과 엑셀 프로그램을 이용하여 선량보정(Dose calibration)을 실시하고 50% 선량인 2.5 Gy에 해당하는 필름 농도 값(gray scale)을 결정한다. 4, 8, 16 mm 콜리메터를 이용하여 각각 x-z, x-y면 중심에 처방선량 50% 2.5Gy (최대선량 5Gy)를 조사하여 스캔 후 반치폭을 평가하여 LGP (Leksell Gamma Plan)의 입력 기준값과 비교한다. 정확도 및 정밀도 평가 시 이미지-제이 프로그램을 이용한 분석은 각 필름에 대하여 2명의 연구자에 의해 측정하고 메드칼크(Medcalc, 64 bit 14.8.1 ver) 프로그램을 이용하여 급내상관계수 분석을 실시하였다. 또한, 고체-물 팬텀의 중심부에 약 1 cc의 가상의 표적을 치료계획 후 x-y면의 중심에 처방선량 50% 2.5Gy (최대선량 5Gy)를 조사 후 이미지 제이 프로그램을 이용하여 분석한 필름 농도를 치료계획 dicom RT 파일과 함께 표준화(normalized)하여 비교하였다.

### III. RESULT

기계적인 중심축과 선량중심축의 일치도 측정을 위하여 x-z면, y-z면에 4mm 콜리메터로 최대선량 5Gy가 조사된 필름을 스캔하여 이미지-제이 프로그램으로 x, y, z 면에 대하여 분석한 결과 Fig. 2 와 같다. 각 필름은 3번 스캔하여 평균값으로 오차를 계산하였다. 필름의 중심의 아래로 뾰족한 부분은 정확도 측정을 위한 기계적 중심을 핀으로 표시함으로써 나타나게 되며 중심으로부터 좌우 각 반치폭에 해당하는 지점의 거리를 계산하고 평균값으로 3차원적 오차를 계산하였다.

Table 1에서 1, 2 각 연구자에 의하여 A병원의 오차  $\delta$ 는 각각 0.098 mm, 0.195 mm 이며 B 병원은 0.229 mm, 0.223 mm로 원자력안전법 기준 0.3 mm 이하로 측정 되었다.

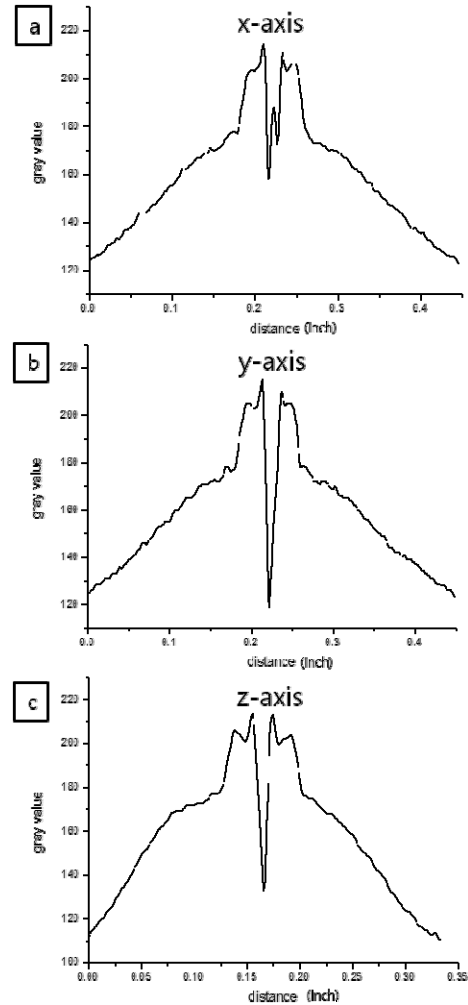


Fig. 2. Illustration of accuracy test of x-axis(a), y-axis(b) and z-axis(c).

x, y 축의 오차값은  $\pm 0.1$  mm 이내로 낮게 나타났으며, z 축 오차 값이 A병원에 비하여 B병원의 측정값이 크게 나타났다. 이는 필름의 상태, 스캔 방법, 측정 방법 및 분석 방법의 차이가 발생할 수 있으므로 연구자간의 측정값 일치성을 평가하기 위하여 1, 2 연구자간 급내상관계수 평가를 시행하였다. A병원에서의 급내상관계수는 0.086의 낮은 값을 나타내어 2명의 연구자간 측정값의 차이의 발생을 확인하였다. B병원은 0.817로

연구자간 측정값이 일치함을 나타내었다. A병원에서 급내상관계수가 낮은 이유는 분석 방법의 차이 때문일 것으로 추측되며 따라서, 분석 시 동일한 분석 방법에 관한 기준점 또는 메뉴얼의 설정이 필요하다고 사료된다.

Table 1. Agreement between the mechanical center axis and the dose center axis. (mm)

Site	R	Scan	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta$	
A	1	1	-0.022	0.042	0.000	0.098	
					0.148		
		2	-0.106	-0.169	0.042		
					0.212		
	3	0.064	0.106	0.001			
				0.17			
	mean	0.021	-0.007	0.095			
	2	1	0.360	0.021	0.423		0.195
					-0.021		
		2	-0.064	0.064	0.635		
					0.021		
	3	-0.487	0.042	-0.021			
			0.042				
mean	-0.064	0.042	0.180				
ICC 0.086							
B	1	1	-0.107	-0.024	0.218	0.229	
					0.236		
		2	0.030	-0.051	0.169		
					0.201		
	3	-0.126	-0.169	0.180			
				0.212			
	mean	-0.067	-0.081	0.203			
	2	1	-0.085	0.085	0.234		0.223
					0.233		
		2	0.021	0.042	0.212		
					0.212		
	3	0.085	0.042	0.191			
			0.212				
mean	0.007	0.056	0.215				
ICC 0.817							

ICC; Intraclass correlation

16 mm 콜리메터로 각각 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 Gy 를 조사하고 스캔 후 이미지-제이 프로그램과 엑셀 프로그램을 이용하여 획득한 선량보정 곡선을 Fig. 3에 나타내었다. 선량보정 곡선의 2.5 Gy에 해당하는 필름 농도 값은 A 161, B 170으로 나타났으며 각 병원별 2명의 연구자간 값은 일치하였다. 정

밀도 평가를 위하여 4, 8, 16 mm 콜리메터로 각각 x-z, x-y면 중심에 처방선량 50% 2.5Gy (최대선량 5 Gy)를 조사하여 스캔 후 획득한 선량 곡선을 Fig. 4로 나타내었으며 각 x-z, x-y면에서의 반치폭을 평가하여 LGP의 기준값과 비교하였다.

EBT3 필름을 이용하여 A, B 각 병원의 감마나이프 퍼펙션 장비의 4, 8, 16 mm 콜리메터 별 x, y, z면의 측정값과 LGP 반치폭 기준값의 차이를 Table 2로 나타내었다. 전체적으로 오차 한계인  $\pm 1$  mm이하의 값을 나타내었다. 측정자간의 급내상관계수는 0.996으로 일치하는 것으로 나타났다. A 병원은 연구자별 0.01~0.583 mm, -0.283~0.412 mm의 오차를 나타내었고, B 병원은 연구자별 -0.857~0.810 mm, -0.773~0.497 mm의 오차를 나타내었다. 8 mm 콜리메터 y 면의 경우 A, B 병원 모두에서 다른 측정값에 비하여 높은 오차 값을 나타내었다. 이것은 필름 스캔시 발생 가능한 뉴튼링(Newton Ring) 현상 및 필름의 이물질에 의한 분석시 오차가 발생한 것으로 추측된다.

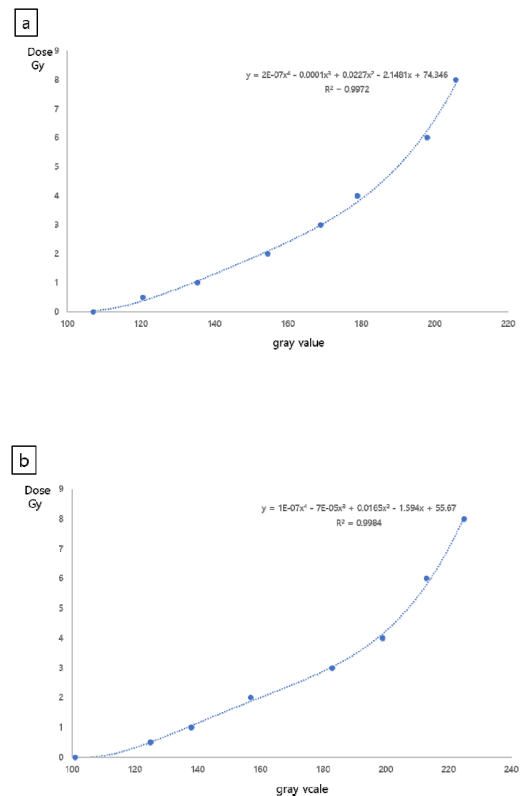


Fig. 3. Dose Calibration curve (a, b for each hospital).

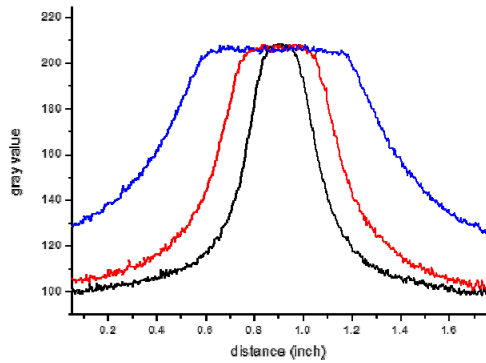


Fig. 4. Comparisons of dose profiles for the 4mm, 8mm, and 16mm collimator along the x axis.

Table 2. Dose distribution(FWHM). (mm)

LGP	FWHM(error) (A)		FWHM(error) (B)		
	1	2	1	2	
	4x	6.16	6.241(0.081)	6.223(0.063)	5.606(-0.554)
4y	6.16	6.170(0.01)	6.138(-0.022)	5.646(-0.513)	5.630(-0.53)
4z	5.04	5.349(0.309)	5.334(0.294)	5.253(0.213)	5.292(0.252)
8x	11.06	11.643(0.583)	11.006(-0.054)	10.457(-0.603)	11.557(0.497)
8y	11.06	11.557(0.497)	11.472(0.412)	10.203(-0.857)	10.287(-0.773)
8z	9.8	9.855(0.055)	9.779(-0.021)	10.106(0.307)	10.118(0.318)
16x	21.75	21.773(0.023)	21.463(-0.283)	22.560(0.81)	22.013(0.263)
16y	21.75	22.039(0.289)	21.844(0.094)	21.717(-0.033)	22.759(0.009)
16z	17.44	17.526(0.086)	17.357(-0.083)	17.653(0.213)	17.738(0.298)

LGP : Leksell Gamma Plan

치료계획과 실제 방사선 조사의 비교를 Fig. 5에 나타내었다. 가상의 1 cc 표적을 좌표계 중심에 위치하도록 하고 치료계획을 실시하여 Fig. 5의 a는 치료계획 프로그램 감마플랜으로부터 획득한 dicom RT 파일의 농도이며, Fig. 5의 b는 치료계획을 실제 x-y면의 중심에 EBT3 필름을 처방선량 50% 2.5Gy (최대선량 5Gy)를 조사 후 스캔하여 이미지-제이 프로그램으로 분석한 필름농도이다. Fig. 5의 c는 a, b의 각 농도를 표준화(normalized)하여 비교하여 나타내었다. 치료계획에서의 50% 선량 지점과 필름에서의 50%선량 지점은 정성적으로 일치하였다. 그러나 치료계획 프로그램의 파일과 EBT3 필름에서의 중심선을 정확히 일치 할 수 있는 기준점이 없으므로 정량적으로 비교할 수 없었다.

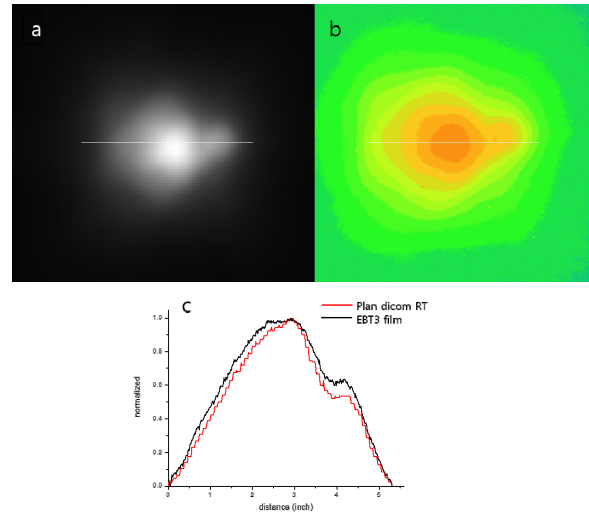


Fig. 5. Normalized intensity analysis(c) of the treatment plan(a) and the actual film survey(b) for a virtual target in the x-y plane.

#### IV. DISCUSSION

감마나이프 방사선 수술은 일반적으로 고선량의 방사선을 조사하기 때문에 준비와 치료 과정에서 환자의 안전과 정밀한 치료시스템을 유지하는 것이 중요하며 정기적인 정도관리가 필수적으로 이루어져야 한다. 감마나이프 모델 B, C의 선량 분포는 몬테카를로 시뮬레이션과 EBT, EBT2 필름을 이용하여 분석 되었으며, 필름을 이용한 분석 결과 오차 범위 내에서 잘 일치 하는 것으로 나타났다.<sup>[11-13]</sup>

필름을 이용한 연구과정 중 EBT3 필름 자체에 의한 오차, 필름을 스캔 하는 과정의 오차 및 이미지-제이 프로그램을 이용하여 분석하는 중 연구자에 의한 오차가 발생할 수 있다. 연구자간 오차의 발생을 방지하기 위하여 이후 이미지-제이 프로그램을 이용한 필름 분석의 경우 측정 지점에 대한 좀 더 명확한 기준점의 확립이 필요하며, 나아가 영상분석 전용 프로그래밍이 필요하다고 생각된다. 또한 EBT3 필름은 사용 가능 선량 범위가 낮다. 감마나이프 등 정위방사선수술은 일반적으로 10~40 Gy를 조사(expose)하고, 최대 100 Gy 이상의 높은 선량이 조사 됨으로 치료계획과 실제 치료 시 방사선 조사에 대한 품질관리를 위하여서는 사용

가능 선량영역이 높은 필름을 이용한 고선량 영역에서의 비교 연구가 필요한 것으로 생각된다.

## V. CONCLUSION

EBT3 필름을 이용한 감마나이프 퍼펙션 분석 결과 방사선/기계적 중심축 일치도는 2명의 연구자 측정 결과 각각 A병원 0.098 mm, 0.195 mm 이며 B 병원 0.229 mm, 0.223 mm로 원자력안전법 기준 0.3 mm 이하로 나타났다. x, y, z 각 축의 콜리메터별 선량분포 오차는 A 병원은 연구자별 0.01~0.583 mm, -0.283~0.412 mm B 병원은 연구자별 -0.857~0.810 mm, -0.773~0.497 mm로 원자력안전법 기준 50%선 ± 1 mm 이하에 적합하였다.

## Reference

- [1] D. Kondzioka, A. H. Maitz, A. Niranzan, K. C. Flickinger, L. D. Lunsford, "An evaluation of the Model C gamma knife with automatic patients positioning," *Neurosurgery*, Vol. 50, No. 2, pp. 429-431, 2002.
- [2] B. I. Hur, "Comparisons between the Two Dose Profiles Extracted from Leksell GammaPlan and Calculated by Variable Ellipsoid Modeling Technique," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 1, pp. 9-17, 2017.
- [3] A. H. Maitz, A. Wu, L. D. Lunsford, J. C. Flickinger, D. Kondziolka, W. D. Bloomer, "Quality Assurance for Gamma Knife Stereotactic Radiosurgery," *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, Vol. 32, No. 5, pp. 1465-1471, 1995.
- [4] V. Moskvina, C. Desrosiers, L. Papiez, R. Timmerman, M. Randall, P. Desrosiers, "Monte Carlo simulation of the Leksell Gamma Knife®: I. Source modelling and calculations in homogeneous media," *Physics in Medicine and Biology*, Vol 47, No. 12, pp 1995-2011, 2002.
- [5] J. Novotny, JP. Bhatnagar, A. Niranjana, MA. Quader, MS. Huq, G. Bednarz, JC. Flickinger, D. Kondziolka, LD. Lunsford, "Dosimetric comparison of the Leksell Gamma Knife Perfexion and 4C," *Journal of Neurosurgery*, Vol. 109, No. 6, pp. 8-14, 2008.
- [6] G. S. Sim, J. Wong, K. Ng, "The use of radiochromic EBT2 film for the quality assurance and dosimetric verification of 3D conformal radiotherapy using Microtek ScanMaker 9800XL flatbed scanner," *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, Vol. 14, No. 4, pp. 85-95, 2013.
- [7] V. C. Borca, M. Pasquino, G. Russo, P. Grosso, D. Cante, P. Sciacero, G. Girelli, M. R. Porta, S. Tofani, "Dosimetric characterization and use of Gafchromic EBT3 film for IMRT dose verification," *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, Vol. 14, No. 2, pp. 158-171, 2012.
- [8] International Specialty Products, *Advanced and materials. Gafchromic EBT3 Scan handling guide*, 2012.
- [9] M. Najafi, G. Geraily, A. Shirazi, M. Esfahani, J. Teimouri, "Analysis of Gafchromic EBT3 film calibration irradiated with gamma rays from different systems: Gamma Knife and Cobalt-60 unit," *Medical dosimetry*, Vol 42, No. 3, pp 158-168, 2017.
- [10] Korea Institute of nuclear safety, *Nuclear Safety Commission Notice No.2015-005*, 2015.
- [11] Y. C. Cheung, K. N. Yu, C. P. Yu, R. T. K. Ho, "Dose distributions at extreme irradiation depths of gamma knife radiosurgery: EGS4 Monte Carlo calculations," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 54, No. 3, pp 461-465, 2001.
- [12] Y. C. Cheung, K. N. Yu, R. T. K. Ho, C. P. Yu, "Stereotactic dose planning system used in Leksell Gamma Knife model-B: EGS4 Monte Carlo versus GafChromic films MD-55," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 53, No. 3, pp 427-430, 2000.
- [13] E. S. Jung, "Comparison analysis of 3D dose distribution measurement of Gafchromic EBT film and Gamma Plan on Gamma Knife," *Graduated school of Chonbuk National University*, 2012.

# EBT-3 필름을 사용한 감마나이프 퍼펙션™의 치료 계획 시스템 및 선량 분포 비교 분석

진성진,<sup>1</sup> 김성진,<sup>2</sup> 서원섭,<sup>3</sup> 허병익<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 해운대백병원 감마나이프센터

<sup>2</sup>양산부산대학교병원 감마나이프센터

<sup>3</sup>경희의료원 신경외과

<sup>4</sup>부산대학교병원 신경외과

## 요약

본 연구는 EBT3 필름을 이용하여 감마나이프 퍼펙션 모델의 3차원적인 선량분포 측정하고 기준값과 비교 분석하여 표준화된 측정방법의 기초로 활용하고자 한다. 2개 종합병원에 설치된 감마나이프 퍼펙션 모델의 선량 분포를 EBT3 필름을 이용하여 정확도와 정밀도를 평가하였다.

정확도 평가를 위해 4 mm 콜리메터를 사용하여 기계적인 중심축과 선량중심축의 일치도를 측정하였다. A병원 0.098 mm, 0.195 mm 이며 B 병원 0.229 mm, 0.223 mm 로 허용 오차 0.3 mm 이하로 측정되었다. 정밀도 평가는 4, 8, 16 mm 콜리메터(collimator) 각각의 x, y, z 3차원면 에서의 반치폭(FWHM : Full Width at Half Maximum)을 이미지-제이 프로그램을 이용하여 평가하였다. A 병원은 -0.283~0.583 mm, B 병원은 -0.857~0.810 mm로 50%선 ± 1 mm 이하의 기준에 적합하였다.

이미지-제이 프로그램을 이용한 선량 분포 분석의 경우 측정자 간의 오차가 발생 가능하므로 측정점에 대한 명확한 기준을 확립할 필요가 있으며, 감마나이프 방사선 수술이 시행되어지는 고선량 영역에서 사용 가능한 선량영역이 높은 필름을 이용한 치료계획과 실제 치료 조사면의 비교가 필요하다고 생각된다.

중심단어: 감마나이프 퍼펙션, EBT3 필름, 이미지-제이 프로그램, 선량분포 측정