

# A Study on the Secondary Carcinogenesis Rate of Vestibular Schwannoma Disease using Glass Dosimeter

Joo-Ah Lee<sup>1\*</sup>, Gi-Hong Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology, Catholic University, Incheon St.Mary's Hospital,

<sup>2</sup>Yonsei University Health System, Severance Hospital Gamma Knife Center

Received: April 17, 2023. Revised: April 27, 2023. Accepted: April 30, 2023.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the secondary carcinogenesis rate caused by exposure of organs at risk of damage using a glass dosimeter during radiosurgery in vestibular schwannoma disease. Using a pediatric phantom of human tissue equivalent material, the volume of the tumor was set to a total of three volumes: 0.506 cm<sup>3</sup>, 1.008 cm<sup>3</sup>, and 2.032 cm<sup>3</sup>, and a radiosurgery plan was established with an average dose of 18.4 ± 3.4 Gy. After mounting the human body phantom on the table of surgical equipment, glass dosimeters were placed on the right eye, left eye, thyroid gland, thymus, right lung, and left lung to measure the exposure dose, respectively. In this study, the incidence of secondary cancer due to exposure to damaged organs during gamma knife radiosurgery in vestibular schwannoma disease with the largest tumor volume of 2.032 cm<sup>3</sup> was measured with a glass dosimeter. This study studies the risk of secondary radiation exposure dose that can occur during stereotactic radiosurgery, and it is considered that it will be used as basic data in the field of radiation damage related to the stochastic effect of radiation in the future.

Keywords: Gamma Knife Radiosurgery, Glass Dosimeter, Organs at risk, Vestibular Schwannoma

## I. INTRODUCTION

정위적 방사선 수술(Stereotactic Radiosurgery, SRS)은 크기가 작은 뇌종양의 위치를 정확히 파악하여 1회 대선량으로 수술효과를 나타내는 방법이다. 뇌 정위 방사선수술은 청신경초종, 뇌수막종 및 동정맥 기형 등의 치료에도 이용되어 그 적용범위가 확대되고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 2015년 이후 감마나이프 장비는 정위적 고정틀(Stereotactic frame)을 사용하지 않고, 마스크로 고정하는 비침습적인 수술로 대 선량을 조사하는 방법이 많이 시행되고 있다<sup>[2]</sup>.

뇌종양 방사선 수술은 주변의 중요한 정상 조직들이 많이 있어서, 방사선 피폭의 위험성이 더욱 초래된다.

방사선 수술의 목표는 처방선량 범위 내에서 가능한 한 정상 조직이 포함되지 않고, 종양 체적이 가장 이상적으로 포함하게 계획을 수립하는 것이다<sup>[3]</sup>. 하지만, 최근 의료장비의 발달과 더불어 사이버나이프, 감마나이프, 선형가속기 등을 이용한 뇌종양 방사선 수술의 증가로 2차적인 종양 발생에 관한 연구가 보고 되어 진다<sup>[4]</sup>.

의료 방사선 분야에서는 의료 목적을 위하여 사용되는 방사선은 그 해로움보다 환자에게 이로움을 가져다주기 때문에 선량한도를 정하지 않았다<sup>[5]</sup>. 하지만, 방사선의 피폭선량을 감소시키기 위하여 국제방사선 방어위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)에서 합리적으로 달성 가능한 가장 낮은 수준(As Low As Reasonable Achievable; ALARA)으로 유지하도록 알렸다<sup>[6]</sup>.

\* Corresponding Author: Joo-Ah Lee

E-mail: rtorange@naver.com

Tel:+82-32-280-6786

암의 방사선치료기술의 개발로 영유아의 방사선 치료 후에도 5년 이상의 장기 생존율이 67 %에 달하고 있다<sup>[7]</sup>. 그럼에도 불구하고, 소아암 치료 후 생존자들의 2차암 발생율이 정상인들 보다 더 높아 대조군에 비하여 최대 20배 가량 높다고 보고되어 진다<sup>[8]</sup>. 특히 소아 환자들은 성인과 비교하여, 방사선 민감성이 취약하기 때문에 방사선 수술로 인한 부작용 발생이 더 치명적이게 된다<sup>[9]</sup>. 이에 본 연구에서는 청신경초종 질환에서 방사선 수술 시 유리선량계를 이용하여 손상위험장기들의 피폭으로 인해 발생하는 2차 발암률을 분석하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험기기 및 대상

방사선 수술의 치료계획은 6세대 ICON™ (Elekta Instruments AB, Stockholm, Sweden), GE Light-Speed 방사선 치료 계획용 CT (GE Healthcare, Chicago, IL, USA) simulator를 사용하여, CT slice thickness 1 mm의 영상을 스캔하였다.



Fig. 1. Gamma Knife ICON™ model. (Elekta Instruments AB, Stockholm, Sweden)

실험에 사용한 인체 조직 팬텀 (anthropomorphic phantom: CIRS, Norfolk, VA, Model 706-G)은 10세 기준의 남자 소아팬텀(모델명: 706, 키: 140 cm, 몸무게: 32 kg)인 Atom phantom (Computerized Imaging Reference Systems, Virginia, USA)을 사용하였다.

유리선량계(Glass Dosimeter)는 SC-1 모델이며, 30 mm × 40 mm × 9 mm 크기로 사각모형이다. 측정되는 선량의 범위는 1 μSv ~ 10 Gy / 1 μSv ~ 1 Sv이다.

FGD-202 (AGC Techno Glass Co, Japan)를 이용하여 선량계의 판독용으로 사용하였다.

### 2. 실험방법

인체 조직 등가 물질의 10세 소아 팬텀(Model 706-G, CIRS, USA)을 사용하여, 종양의 체적은 0.506 cm<sup>3</sup>, 1.008 cm<sup>3</sup>, 2.032 cm<sup>3</sup> 총 3개의 체적으로 설정하였고, 평균 선량은 18.4 ± 3.4 Gy로 방사선수술계획을 수립하였다.

본원에서 총 5년 동안 실제 청신경초종 질환으로 감마나이프 방사선 수술을 시행한 환자들을 분석하여, 최대와 최소 종양 체적을 기준으로 위와 같이 설정하였다<sup>[10]</sup>. 또한, 방사선 수술계획 수립의 평균처방선량은 감마나이프 방사선 수술의 임상 연구들을 참조하여 종양 체적에 맞추어 수술계획을 수립하였다<sup>[11,12]</sup>.

수술 장비의 테이블에 인체 팬텀을 장착시킨 후 유리선량계를 우안, 좌안, 갑상샘, 흉선, 오른쪽 폐, 왼쪽 폐에 위치시켜 각각 피폭선량을 측정하였다. 고선량 평가를 위하여 5회씩 방사선을 반복 조사한 후, 각각의 선량계를 판독하여 평균선량을 산출하였다.

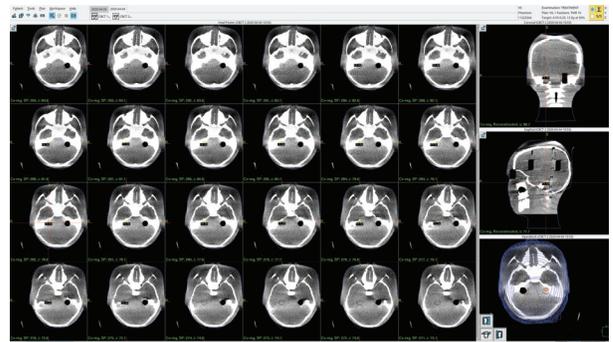


Fig. 2. Before radiosurgery, Cone Beam CT scan to confirm positional accuracy.

### 3. 정위적 방사선 수술의 계획 수립

인체 팬텀 내부의 종양 체적 0.506 cm<sup>3</sup>에서 18.4 ± 3.3 Gy, 1.008 cm<sup>3</sup>에서 18.9 ± 3.3 Gy, 2.032 cm<sup>3</sup>에서 18.4 ± 3.4 Gy로 청신경초종 종양의 방사선 수술을 설계하였다. 손상위험장기들의 설계는 뇌간, 달팽

이관, 척수, 시신경으로 Table 1과 같이 계획하였다.

Table 1. Critical at Organs Risk Doses (unit: Gy)

Organs at risk	Target Volume (2.032 cm <sup>3</sup> )
Brain stem	2.0
Cochlea	10.7
Spinal cord	0.1
Thymus gland	0.4

방사선 수술 시행 전, 콘빔 CT로 촬영한 영상의 자세 오차율은 Rotation과 Translation에서 모두 0.6 mm 미만으로 실제 방사선 수술의 기준 오차 범위 내로 정확하였다.

### III. RESULT

청신경초종 질환으로 감마나이프 방사선 수술 중 손상위험장기들의 방사선 피폭 선량은 Table 2와 같이 오른쪽 눈, 왼쪽 눈, 갑상샘, 흉선, 오른쪽 폐, 왼쪽 폐에서 각각 측정을 하였다.

Table 2. Measured dose to Organ at risk doses (unit: mGy)

Normal Organs	Target Volume (cm <sup>3</sup> )		
	0.506cm <sup>3</sup>	1.008cm <sup>3</sup>	2.032cm <sup>3</sup>
Right Eye	88.6± 0.53	99.0 ± 0.63	110.4 ± 0.79
Left Eye	61.7 ± 0.5	96.7 ± 0.19	100.2 ± 1.04
Thyroid gland	6.1 ± 0.03	10.2 ± 0.04	12.6 ± 0.05
Thymus gland	2.5 ± 0.01	3.7 ± 0.01	5.3 ± 0.01
Right Lung	1.6 ± 0.01	2.6 ± 0.01	3.4 ± 0.03
Left Lung	1.2 ± 0.00	2.6 ± 0.01	3.3 ± 0.02

유리선량계로 측정된 선량으로 2차 발암률을 계산하기 위하여 명목위험계수(Nominal risk factor)를 적용하였다. ICRP 103에 근거한 명목 위험 계수는 전체 인구에 대하여 Sv 당 5.7 % 이다. 각각의 조직가중치는 갑상샘 0.04, 흉선 0.12, 폐 0.12의 값으로 산출하였다<sup>6)</sup>. 청신경초종 질환의 감마나이프 방사선 수술 시 손상위험장기의 피폭선량으로 인한 2차 발암률은 Eq. (1)과 같다.

$$Sp = Ds \times W_T \times C \tag{1}$$

Sp : Secondary carcinogenesis probability

Ds : Secondary exposure dose

W<sub>T</sub> : Tissue Weighting Factor

C : Nominal Risk Coefficient (0.057 /Sv)

본 연구의 실험 결과로 손상위험장기들의 흡수 선량과 명목위험계수로 산출된 2차 발암률 계산식은 Eq. (2)와 같다.

$$Sp = \{(Thyroid Ds \times Thyroid W_T) + (Thymus Ds \times Thymus W_T) + (Both lung Ds \times Lung W_T)\} \times C \tag{2}$$

Sp : Secondary carcinogenesis probability

Thyroid Ds : Thyroid gland Absorbed Dose

Thyroid W<sub>T</sub> : Thyroid gland Weighting Factor

Thymus Ds : Thymus gland Absorbed Dose

Thymus W<sub>T</sub> : Thymus gland Weighting Factor

Both lung Ds : Right & Left Absorbed Dose

Lung W<sub>T</sub> : Lung Weighting Factor

C : Nominal Risk Coefficient (0.057 /Sv)

위의 식에서와 같이, 본 연구에서 가장 큰 종양 체적인 2.032 cm<sup>3</sup>의 청신경초종 질환에서 감마나이프 방사선 수술 시 손상위험장기의 피폭으로 인한

2차암 발생률을 유리선량계로 측정한 그 결과는 Table 3과 같이 10,000명 당 1.11명의 2차암이 발생될 수 있는 것으로 계산되었다.

Table 3. Secondary carcinogenesis probability (unit: Gy) (Tumor volume 2.032 cm<sup>3</sup>)

Calculation	Value
Thyroid gland Ds × Thyroid gland WT 0.01265 × 0.04	5.06 × 10 <sup>-4</sup> A
Thymus gland Ds × Thymus gland WT 0.0053 × 0.12	6.36 × 10 <sup>-4</sup> B
Both lung Ds × Lung WT (0.00342 + 0.00333) × 0.12	8.10 × 10 <sup>-4</sup> C
Nominal risk coefficient 0.057 / Sv	0.057
(A+B+C) × 0.057 1.11 × 10 <sup>-4</sup>	∴ 1.11 per 10,000 people

#### IV. DISCUSSION

정위적 방사선 수술에서 치료계획의 목표는 종양조절확률(Tumor Control Probability)을 높이며, 정상조직의 부작용을 낮추는 것이다<sup>[2]</sup>. 특히, 감마나이프를 이용한 방사선 수술은 1회 대 선량을 조사하기 때문에 주변의 중요한 정상 장기들의 방사선에 의한 피폭을 최소한으로 줄이기 위한 노력이 더 요구된다.

전산화단층촬영 두부 검사를 한번 시행하였을 때, 안구에 받는 피폭선량은 무려 50 mGy를 받는 것으로 연구되었다<sup>[13]</sup>. 본 연구 결과에 의하면 중앙 볼륨 2.032cm<sup>3</sup>에서 오른쪽 눈은 110.4 ± 0.79 mGy, 왼쪽 눈은 100.2 ± 1.04 mGy로 두부 CT를 1회 검사 시 받는 피폭선량보다도 약 2배 이상을 초과하는 피폭이다. 저자의 실험은 10세 아동의 인체모형 팬텀을 대상으로 하였으므로, 성인보다도 더욱 방사선에 취약한 소아환자의 방사선 수술시 받는 정상조직의 선량에 집중할 필요가 있겠다.

더욱이 방사선에 민감한 안구와 갑상샘은 흉부 CT 1회 검사 시 안구의 피폭선량은 3.01 mSv로, 본 연구의 안구 선량 값이 무려 33배 이상 높은 값을 나타낸다<sup>[14]</sup>. 이러한 점은 뇌 정위적 방사선수술이 안구와 근접하게 위치해 있으며 특히, 한 번에 대 선량을 조사하는 특징 때문이다.

본 연구는 유리선량계를 사용하여 값을 측정하였고, 방사선 수술계획 설계 시 간과할 수 있는 손상위험장기의 피폭선량으로 인한 암 발생률을 연구하였다는 점에서 의미 있는 연구라고 할 수 있다. 즉, 중앙 주변의 정상조직 피폭선량으로 인하여 2차적으로 또 다른 원발부위에 추가적으로 암이 발생할 수 있음을 시사하는 바이다.

본 연구의 제한점은 인체 소아 팬텀을 사용하였기에 성인의 연구는 하지 못한 아쉬움이 있지만, 손상위험 장기들의 피폭선량으로 인한 2차적인 암 발생률을 분석하였다는 점에서 그 의미가 있겠다.

#### V. CONCLUSION

청신경초종 질환의 정위적 방사선 수술 시 손상

위험장기의 피폭선량을 유리선량계로 측정하여 2차 발암률을 분석하고자 하였다. 이로 인한 추가적인, 암 발생률은 10,000명 당 1.11명의 2차 암이 발생할 수 있는 것으로 계산되었다.

본 연구는 정위적 방사선 수술 시 발생할 수 있는 2차 방사선 피폭선량의 위험성을 연구하여 향후 방사선의 확률적 영향과 관련된 방사선 장애분야에 기초자료로 활용될 것이라 사료된다.

#### Reference

- [1] E. S. Jang, B. S. Chang, "Comparison of Linac-based VMAT Stereotatic Radiosurgery and Conventional Stereotatic Radiosurgery for Multiple Brain Lesions", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 15, No. 2, pp. 239-246, 2021. <https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.2.239>
- [2] S. J. Jin, J. Y. Je, C. W. Park, "Clinical Analysis of Inverse Planning for Radiosurgery ; Gamma Knife Treatment Plan Study", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 6, pp. 343-348, 2015. <https://doi.org/10.7742/jksr.2015.9.6.343>
- [3] J. Y. Je, "Evaluation of Depth Dose and Surface Dose According to Treatment Room Wall Distance", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 5, No. 3, pp. 121-125, 2011. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2011.5.3.121>
- [4] S. Miljanic, H. Hrsak, Z. Knezevic, M. MaJer, Z. Heinrich, "Peripheral doses in children undergoing Gamma Knife radiosurgery and second cancer risk", *Radiation Measurements*, Vol. 55, pp. 38-42, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.09.013>
- [5] H. J. Lee, C. G. Kim, M. S. Han, C. H. Baek, "Problems of the Radiation Safety Management System and Legal Improvement Plans in the Department of Radiological Science: Focusing on the survey of the head of the Department of Radiological Science", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 16, No. 7, pp. 815-824, 2022. <https://doi.org/10.7742/jksr.2022.16.7.815>
- [6] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37, Vol. 2-4, 2007.

- [7] C. P. Yen, S. J. Monteith, J. H. Nguyen, J. Rainey, D. J. Schlesinger, J. P. Sheehan, "Gamma knife surgery for arteriovenous malformations in children", *Journal of neurosurgery*, Vol 6, No. 5, pp. 426-434, 2010. <https://doi.org/10.3171/2010.8.peds10138>
- [8] E. J. Chung, C. O. Suh, G. E. Kim, C. J. Lyu, B. S. Kim, "Second Malignant Solid Neoplasms in Children Treated with Radiotherapy - Report of Two Cases and Review of Literature -", *Journal of the Korean society for therapeutic radiology and oncology*, Vol. 13, No. 3, pp. 267-275, 1995.
- [9] D. H. Lim, "Radiation therapy for pediatric brain tumors", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 55, No. 5, pp. 447-453, 2012. <https://doi.org/10.5124/jkma.2012.55.5.447>
- [10] J. H. Chang, J. W. Chang, Y. G. Park, S. S. Chung, "Gamma Knife Radiosurgery for Juxtacellular Tumors", *Journal of Korean Neurosurgical Society*, Vol. 29, No. 10, pp. 1345-1351, 2000.
- [11] Y. S. Lee, "Gamma Knife Radiosurgery for Pineal gland tumors", *Inje University, Master of Sciences in Medicine*, pp. 1-22, 2017.
- [12] Y. J. Choi, J. I. Lee, Y. D. Kim, "Gamma Knife radiosurgery for orbital lesions", *Journal of the Korean ophthalmological society*, Vol. 49, No. 4. pp. 555-561, 2008. <https://doi.org/10.3341/jkos.2008.49.4.555>
- [13] S. M. Kwon, J. S. Kim, "The Evaluation of Eye Dose and Image Quality According to The New Tube Current Modulation and Shielding Techniques in Brain CT", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 5, pp. 279-285, 2015. <https://doi.org/10.7742/jksr.2015.9.5.279>
- [14] J. S. Lee, K. S. Chon, "Reduction of Radiation Exposure Dose of Eyeball and Thyroid for Chest and Abdomen CT Scan", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 2, pp. 147-151, 2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.2.147>

## 유리선량계를 이용한 청신경초종 질환의 2차 발암률에 관한 연구

이주아<sup>1,\*</sup>, 김기홍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>가톨릭대학교 인천성모병원 방사선종양학과

<sup>2</sup>연세대학교 세브란스병원 감마나이프센터

### 요 약

본 연구에서는 청신경초종 질환에서 방사선 수술 시 유리선량계를 이용하여 손상위험장기들의 피폭으로 인해 발생하는 2차 발암률을 분석하고자 한다. 인체 조직 등가 물질의 소아 팬텀을 사용하여, 종양의 체적은 0.506 cm<sup>3</sup>, 1.008 cm<sup>3</sup>, 2.032 cm<sup>3</sup> 총 3개의 체적으로 설정하였고, 평균 선량은 18.4 ± 3.4 Gy로 방사선수술계획을 수립하였다. 수술 장비의 테이블에 인체 팬텀을 장착시킨 후 유리선량계를 우안, 좌안, 갑상샘, 흉선, 오른쪽 폐, 왼쪽 폐에 위치시켜 각각 피폭선량을 측정하였다. 본 연구에서 가장 큰 종양체적인 2.032 cm<sup>3</sup>의 청신경초종 질환에서 감마나이프 방사선 수술 시 손상위험장기의 피폭으로 인한 2차 암 발생률을 유리선량계로 측정한 그 결과는 10,000명 당 1.11명의 2차 암이 발생할 수 있는 것으로 계산되었다. 본 연구는 정위적 방사선 수술 시 발생할 수 있는 2차 방사선 피폭선량의 위험성을 연구하여 향후 방사선의 확률적 영향과 관련된 방사선 장애분야에 기초자료로 활용될 것이라 사료된다.

중심단어: 감마나이프 방사선수술, 유리선량계, 손상위험장기, 청신경초종

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자) (교신저자)	이주아	가톨릭대학교 인천성모병원 방사선종양학과	방사선사
(공동저자)	김기홍	연세대학교 세브란스병원 감마나이프센터	방사선사