

The Alignment Evaluation for Patient Positioning System(PPS) of Gamma Knife Perfexion™

Seong Jin Jin,¹ Gyeong Rip Kim,² Beong Ik Hur^{3,*}

¹Gamma Knife center, Haeundae Paik Hospital, Inje University

²Department of Neurosurgery, Pusan National University Yangsan Hospital

³Department of Neurosurgery, Pusan National University Hospital

Received: March 30, 2020. Revised: May 29, 2020. Accepted: June 30, 2020

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the mechanical stability and alignment of the patient positioning system (PPS) of Leksell Gamma Knife Perfexion(LGK PFX). The alignment of the PPS of the LGK PFX was evaluated through measurements of the deviation of the coincidence of the Radiological Focus Point(RFP) and the PPS Calibration Center Point(CCP) applying different weights on the couch(0, 50, 60, 70, 80, and 90 kg). In measurements, a service diode test tool with three diode detectors being used biannually at the time of the routine preventive maintenance was used. The test conducted with varying weights on the PPS using the service diode test tool measured the radial deviations for all three collimators 4, 8, and 16 mm and also for three different positions of the PPS. In order to evaluate the alignment of the PPS, the radial deviations of the correspondence of the radiation focus and the LGK calibration center point of multiple beams were averaged using the calibrated service diode test tool at three university hospitals in Busan and Gyeongnam. Looking at the center diode for all collimators 4, 8, and 16 mm without weight on the PPS, and examining the short and long diodes for the 4 mm collimator, the means of the validation difference, i.e., the radial deviation for the setting of 4, 8, and 16 mm collimators for the center diode were respectively measured to 0.058 ± 0.023 , 0.079 ± 0.023 , and 0.097 ± 0.049 mm, and when the 4 mm collimator was applied to the center diode, the short diode, and the long diode, the average of the radial deviation was respectively 0.058 ± 0.023 , 0.078 ± 0.01 and 0.070 ± 0.023 mm. The average of the radial deviations when irradiating 8 and 16 mm collimators on short and long diodes without weight are measured to 0.07 ± 0.003 (8 mm sd), 0.153 ± 0.002 mm(16 mm sd) and 0.031 ± 0.014 (8 mm ld), 0.175 ± 0.01 mm(16 mm ld) respectively. When various weights of 50 to 90 kg are placed on the PPS, the average of radial deviation when irradiated to the center diode for 4, 8, and 16 mm is 0.061 ± 0.041 to 0.075 ± 0.015 , 0.023 ± 0.004 to 0.034 ± 0.003 , and 0.158 ± 0.08 to 0.17 ± 0.043 mm, respectively. In addition, in the same situation, when the short diode for 4, 8, and 16 mm was irradiated, the averages of radial deviations were 0.063 ± 0.024 to 0.07 ± 0.017 , 0.037 ± 0.006 to 0.059 ± 0.001 , and 0.154 ± 0.03 to 0.165 ± 0.07 mm, respectively. In addition, when irradiated on long diode for 4, 8, and 16 mm, the averages of radial deviations were measured to be 0.102 ± 0.029 to 0.124 ± 0.036 , 0.035 ± 0.004 to 0.054 ± 0.02 , and 0.183 ± 0.092 to 0.202 ± 0.012 mm, respectively. It was confirmed that all the verification results performed were in accordance with the manufacturer's allowable deviation criteria. It was found that weight dependence was negligible as a result of measuring the alignment according to various weights placed on the PPS that mimics the actual treatment environment. In particular, no further adjustment or recalibration of the PPS was required during the verification. It has been confirmed that the verification test of the PPS according to various weights is suitable for normal Quality Assurance of LGK PFX.

Keyword: Gamma Knife Perfexion™, Patient Positioning System, Service Diode test tool, Radial Deviation

I. INTRODUCTION

최근 감마나이프 방사선수술의 주종을 이루는 감마나이프 모델은 퍼펙션과 아이콘 모델이다.^[1-4] 기존 감마나이프 B, C 모델과는 달리 감마나이프 퍼펙션과 아이콘은 치료 도중 시준기 헬멧(collimator helmet)을 교체할 필요 없이 방사 장치 내에 모든 시준기가 내장되어 있고 치료 시 환자의 위치를 0.1 mm 단위로 조절할 수 있는 자동환자이송장치(Patient Positioning System: PPS)를 갖추어 시술 전과정을 전자동화한 최첨단 플랫폼이다. 감마나이프 방사선수술은 통상 한 번에 고 선량을 조사하는 수술 절차는 (1) 3차원 좌표계 설정 과정인 정위 틀 고정, (2) 기준점들(fiducials)을 사용해서 치료 병변의 위치 측정을 위한 MRI, CT, Angio등의 영상획득, (3) 처방선량, 조사위치, 조사 콜리메이터 배치 등의 치료계획, (4) 방사선수술의 네 단계로 이루어진다. 일회 고 선량의 방사선을 조사하기 때문에 한 치의 오차 없이 감마나이프 방사선수술 준비와 치료 과정에서 환자의 안전과 정밀한 치료시스템을 유지하는 것이 감마나이프 방사선수술에 있어서 가장 중요한 과제이기 때문에 정밀한 치료시스템의 확보를 위하여 정기적인 정도관리가 필수적으로 이루어져야 한다.^[5,6] 감마나이프 퍼펙션(Leksell Gamma Knife Perfexion)의 PPS의 안정성을 평가하는 방법은 보통 세 가지 방법들 즉, (1) LGK(Leksell Gamma Knife) 설치시 제조사에 의해 제공된 중심 다이오드 하나를 가진 테스트 도구를 이용, (2) 연 2회 제조사에 의해 이루어지는 정도관리(Quality Assurance)시 서비스 다이오드 테스트 도구를 이용, (3) 연 1회 정도관리시 필름 핀찌르기(film pin-prick) 방법들을 이용하여 모두 다중 빔의 방사선 초점(radiological focus point: RFP)과 LGK PFX PPS 교정 중심점(calibration center point: CCP)의 일치함의 편차를 측정하기 위해서 이용된다.^[7] 이 연구의 목적은 LGK PFX의 PPS 상에 다양한 무게를 가진 경우 PPS의 안정성 즉 정확도, 정렬됨을 서비스 다이오드 테스트 도구를 이용한 RFP와 CCP의 일치 정도를 평가하고자 한다.



Fig. 1. Gamma Knife Perfexion unit.



Fig. 2. Docking mechanism of LGK PFX PPS.

II. MATERIAL AND METHODS

1. LGK PFX에 대한 RFP와 CCP의 일치성

연 2회 실시하는 정도관리 시 다중 빔의 방사선 초점과 감마나이프 퍼펙션 자동환자이송장치의 교정 중심점과의 일치성 검증은 Fig. 3에 보인 바와 같이 제조사가 소유한 교정된 서비스 다이오드 테스트 도구[ELEKTA, Sweden, Serial No: 1007015 7SNFV052]를 이용해서 여덟 섹터들의 4, 8, 16 mm 콜리메이션 배치 하에서 중심 다이오드(central diode: cd)에 조사하여 x축, y축, z축 방향으로의 편차들 Δx , Δy , Δz 를 측정하여 (1)식과 같이 검증 차이(validation difference) Δr 를 구한다. 추가적으로 4 mm 콜리메이션 배치 하에 짧은 다이오드(short diode: sd)와 긴 다이오드(long diode: ld)에 조사하여 검증 차이를 측정한다.

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

제조업체의 명세서에서 중심 다이오드에 4, 8, 16 mm 각 콜리메이터 조사(irradiation) 시 방사상의 허용 편차(radial tolerance)는 0.1, 0.15, 0.15 mm이고 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 4 mm 콜리메이터 조사 시 방사상의 허용 편차는 0.5 mm이다.

2. 연구 재료 및 방법

본 연구는 위에서 소개한 LGK PFX의 PPS의 안정성 평가 방법들 중 제조업체의 정도관리 시 수행하는 세 번째 방법 즉 제조사의 교정된 서비스 다이오드 테스트 도구를 이용하여 부산, 경남 소재 A, B, C 3개 대학병원에서 운용되고 있는 감마나이프 퍼펙션 모델의 PPS 안정성을 검증하기 위해서 Fig. 3, Fig. 4와 같이 제조사의 엔지니어 협조 하에 3명의 연구자에 의해 기계적 중심과 다중 빔 중심의 일치도를 통해 평가하고자 하였다. 강체(rigid body) 내의 동선에 있지 않은(non-collinear) 세 점의 위치가 공간에 고정되어 있다면 강체 또한 공간에 고정되기 때문에 서비스 다이오드 테스트 도구의 동선에 있지 않은 중심 다이오드의 위치 (100, 100, 100 mm), 짧은 다이오드의 위치 (100, 50, 115 mm), 긴 다이오드의 위치 (160, 100, 22 mm) 세 지점을 4, 8, 16 mm 콜리메이션 모든 배치 하에서 확인함으로써 PPS의 정렬됨 즉 안정성을 확인할 수 있었다. 실제 감마나이프 방사선수술 상황 하에서의 안정성을 검증하기 위해서 Fig. 4와 Fig. 5에 보인 바와 같이 다양한 무게를 가하여 자동환자이송장치에 장착된 세 다이오드를 평행 이동하여 다중 빔 중심에 맞추어 위치 측정하여 수식 (1)과 같이 교정된 서비스 다이오드 테스트 도구의 세 다이오드 기준점들 cd(100.311, 99.623, 100.307 mm), sd(99.758, 49.620, 115.175 mm), ld(160.130, 99.551, 22.075 mm)와의 검증 차이 Δr 을 구하여 세 병원의 LGK PFX PPS의 정렬됨 즉 안정성을 평가하였다. 통상 감마나이프 방사선수술 치료를 받는 환자의 체중은 대부분 50 kg에서 90 kg까지 걸쳐 있어 PPS 위에 환자의 체중에 대응하는 50 kg, 60 kg, 70 kg,

80 kg, 90 kg의 역기 바벨을 환자의 허리가 위치하는 곳에 올려 PPS의 정렬됨을 측정하였다.

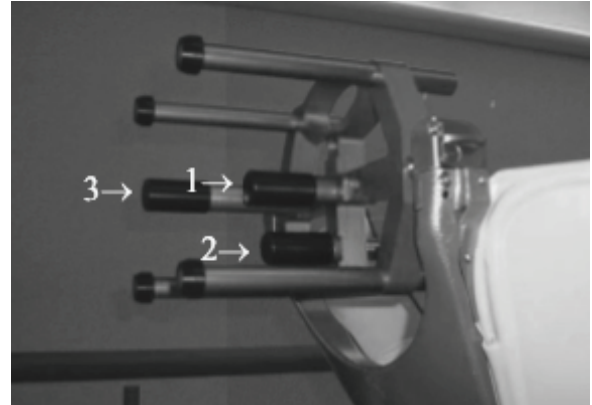


Fig. 3. The service diode test tool shown attached to GK PFX PPS. Diode 1 is the central diode, diode 2 is the short diode and diode 3 is the long diode.

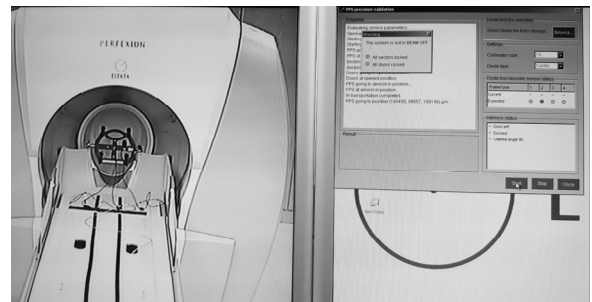


Fig. 4. Alignment measurement of PPS.

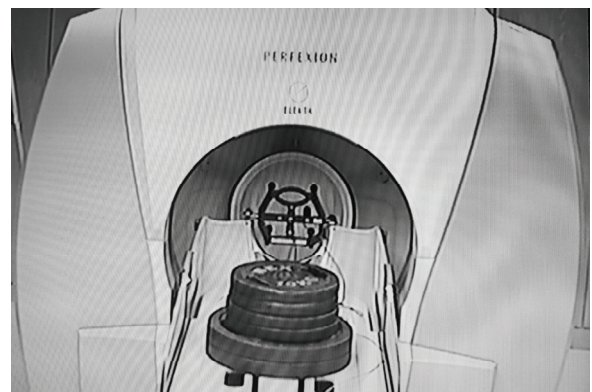


Fig. 5. Alignment measurement of PPS with the varying weights (50, 60, 70, 80, 90 kg).

PPS 상에 무게의 유무에 관계없이 정렬됨의 측정치는 세 병원에서 이루어진 측정 결과치의 평균을 나타내었다.

III. RESULT

Fig. 6과 Fig. 9는 연 2회 수행되는 정도관리 때와 동일하게 PPS 상에 무게의 유무에 따라 모든 콜리메이터 4, 8, 16 mm에 대한 중심 다이오드에 조사와 4 mm 콜리메이터에 대한 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 조사한 경우를 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 중심 다이오드에 4, 8, 16 mm 콜리메이터 각각 조사 시 검증 차이 즉 방사상 편차(radial deviation)의 평균은 각각 0.058 ± 0.023 , 0.079 ± 0.023 , 0.097 ± 0.049 mm로 나타났고, 중심 다이오드, 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 4 mm 콜리메이터 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 0.058 ± 0.023 , 0.078 ± 0.010 , 0.070 ± 0.023 mm이었다. 정도관리 시 수행되지 않는 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 8, 16 mm 콜리메이터 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 0.070 ± 0.003 (8 mm sd), 0.153 ± 0.002 mm(16 mm sd)와 0.031 ± 0.014 (8 mm ld), 0.175 ± 0.010 mm(16 mm ld)로 측정되었다. Fig. 6은 PPS 상에 다양한 무게 50~90 kg을 올린 경우 4, 8, 16 mm에 대한 중심 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 $0.061 \pm 0.041 \sim 0.075 \pm 0.015$, $0.023 \pm 0.004 \sim 0.034 \pm 0.003$, $0.158 \pm 0.080 \sim 0.170 \pm 0.043$ mm를 나타내었다. 또한 Fig. 7은 동일한 상황에서 4, 8, 16 mm에 대한 짧은 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 $0.063 \pm 0.024 \sim 0.070 \pm 0.017$, $0.037 \pm 0.006 \sim 0.059 \pm 0.001$, $0.154 \pm 0.030 \sim 0.165 \pm 0.070$ mm를 나타내었다. 그리고 Fig. 8은 다양한 무게를 PPS 상에 올린 경우에 4, 8, 16 mm에 대한 긴 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균이 각각 $0.102 \pm 0.029 \sim 0.124 \pm 0.036$, $0.035 \pm 0.004 \sim 0.054 \pm 0.020$, $0.183 \pm 0.092 \sim 0.202 \pm 0.012$ mm임을 나타내었다. Fig. 9, Fig. 10와 Fig. 11은 PPS 상에 무게의 유무에 따라 4 mm, 8 mm, 16 mm를 중심 다이오드, 짧은 다이오드, 긴 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균을 나타내었다.

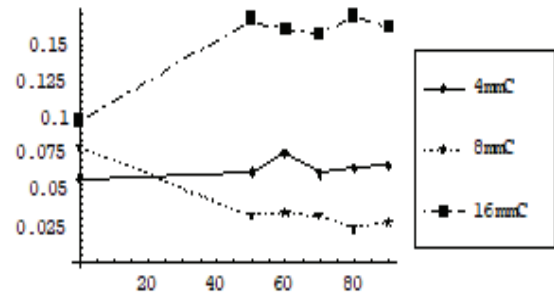


Fig. 6. The radial deviations for the 4, 8, and 16 mm collimators measured with central diode of the service diode test tool.

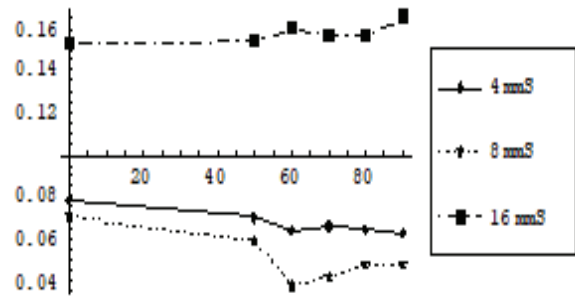


Fig. 7. The radial deviations for the 4, 8, and 16 mm collimators measured with short diode of the service diode test tool.

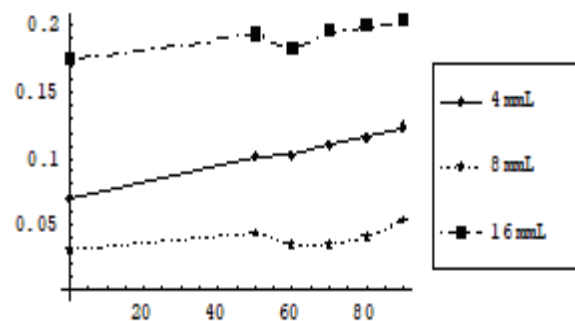


Fig. 8. The radial deviations for the 4, 8, and 16 mm collimators measured with long diode of the service diode test tool.

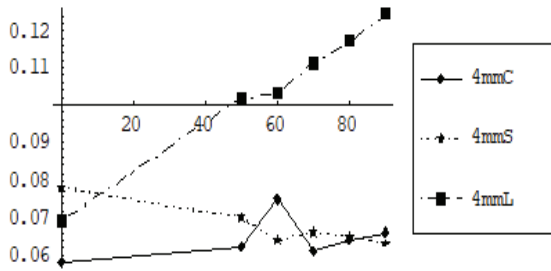


Fig. 9. The radial deviations for the 4 mm collimator measured with central, short and long diodes of the service diode test tool.

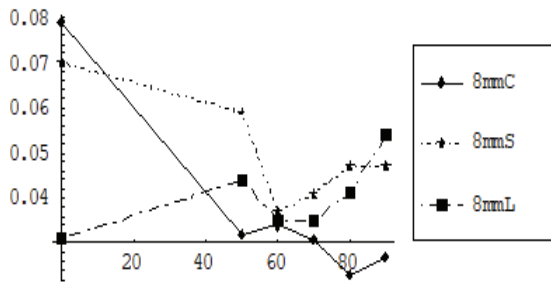


Fig. 10. The radial deviations for the 8 mm collimator measured with central, short and long diodes of the service diode test tool.

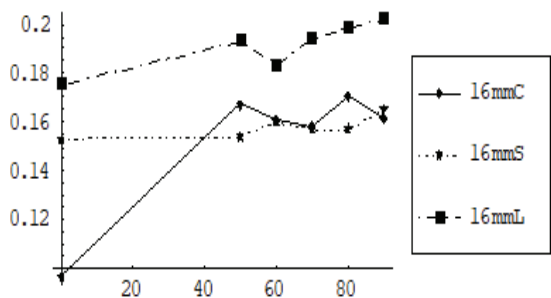


Fig. 11. The radial deviations for the 16 mm collimator measured with central, short and long diodes of the service diode test tool.

IV. DISCUSSION

감마나이프 정위 방사선수술은 최첨단 컴퓨터시스템으로 계획된 치료계획에 따라 고 정밀도로 치료 병변에 조사할 수 있는 이점을 지니고 있다. 감마나이프 퍼펙션 및 아이콘 모델은 높은 성능의 컴퓨터시스템과 정밀한 로봇틱스를 통합하여 기존의 감마나이프보다 더 안락하고 안전한 시스템을 갖추고 있다.^[14] 제일 큰 혁신은 모든 콜리메이터를 본체 (radiation unit)에 통합하여 자동으로 조사 배치하는 시스템과 치료 시 환자의 위치를 0.1 mm 단위로 조정 가능한 자동환자이송장치 PPS를 갖추고 있다는 점이다. 본체에 내장된 코발트 60 방사성 물질은 원추형의 통합 콜리메이터 표면에 8 개의 섹터들에 24개씩 분산 배치되어 독립적으로 움직이면서 조사하고, 환자의 카우치에 해당하는 PPS는 모든 빔의 초점에 계획된 조사 위치 (x, y, z)를 맞추기 위해 x, y, z 방향으로 평행 이동하는 큰 움직임이 이루어진다. LGK PFX의 PPS를 구동하는 조정 소프트웨어 및 하드웨어의 조급의 결합은 정위 조사 위치의 어긋남으로 이어지기 때문에 PPS의 정확도는 중요한 검증 요소가 아닐 수 없다. PPS의 안정성, 정밀도의 좋은 검증 척도는 다중 빔의 방사선 초점 RFP와 LGK PFX PPS 교정 중심점 CCP의 일치함 (coincidence)의 방사성 편차를 측정하는 것이다. 본 연구에서는 제작사에서 정도관리 시 사용하는 교정된 서비스 다이오드 테스트 도구를 사용하여 RFP와 CCP의 일치함의 편차를 측정하여 PPS의 견고함을 확인할 수 있었다. 저자들은 연 2회 수행되는 정도관리 시와 동일하게 PPS 상에 무게 없이 측정을 했을 때 큰 콜리메이터를 사용할수록 측정 오차가 약간 증가함이 관측되었지만 제조사의 명세에서 허용한 방사상 오차가 중심 다이오드에 4, 8, 16 mm 콜리메이터 조사(irradiation) 시 각각 0.1, 0.15, 0.15 mm이고, 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 4 mm 콜리메이터 조사 시 0.5 mm이내이어야 하는 조건에 부합함을 확인하였다. 8, 16 mm 조사 배치 하에 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 조사 시 방사상 편차 또한 0.5 mm 허용 오차 이내임을 확인하였다. 뿐만 아니라 실제 환자 치료 상황을 구현한 다양한 무게 50~90 kg을 PPS 상에 올려 RFP와 CCP의 일치함의

정도를 확인한 결과 중심 다이오드의 경우 4 mm 배치가 PPS 상에 무게 없는 상황에서 가장 정밀했으나 무게 있는 경우는 오히려 8 mm 조사 배치가 더 정밀함을 확인할 수 있었다. 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 조사하는 경우는 무게에 상관없이 모든 콜리메이터 조사에 대한 허용 방사성 오차 이내이었고, 8 mm 콜리메이터가 가장 정밀함을 보였으며 실제 치료 환경 하에서도 PPS의 안정성 및 정밀함을 관측할 수 있었다.

V. CONCLUSION

LGK PFX PPS의 정밀도에 대하여 3개 대학병원에서 운용되고 있는 초점 정밀도 검사들 중 한 방법을 사용하여 평가하였다. 모든 검증 결과는 제작사 인증 기준 내에서 적합함을 확인하였다. 특히 정도 관리 시 시행되지 않는 실제 치료 환경을 흉내낸 PPS 상에 올린 무게에 따른 검증 차이를 측정 한 결과 무게는 무시할 수 있음을 알 수 있었다. 검증 기간 동안 PPS의 추가 조정 또는 재교정은 필요치 않았다. 다양한 무게에 따른 PPS의 정렬됨, 정밀도 확인을 위해 서비스 다이오드 테스트 도구를 사용한 본 연구의 정밀 테스트가 LGK PFX의 안정성과 정확성을 위해 LGK PFX의 일상적인 정도관리의 한 부분으로 채택되는 것이 적합할 것으로 확인되었다.

Reference

- [1] C. Lindquist, I. Paddick, "The Leksell Gamma Knife Perfexion and comparisons with its predecessors", *Neurosurgery*, Vol. 61, pp. 130-140, 2007. <http://dx.doi.org/10.1227/01.neu.0000316276.20586.dd>
- [2] J. Regis, M. Tamura, C. Guillot, S. Yomo, X. Muracciolle, M. Nagaje, Y. Arka, D. Porcheron, "Radiosurgery with the world's first fully robotized Leksell Gamma Knife Perfexion in clinical use: A 200-patient prospective, randomized, controlled comparison with the Gamma Knife 4C", *Neurosurgery*, Vol. 64, No. 2, pp. 346-355, 2009. <http://dx.doi.org/10.1227/01.NEU.0000337578.00814.75>
- [3] 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. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.1.9>
- [4] M. Zeverino, M. Jaccard, D. Patin, N. Ryckx, M. Marguet, C. Tuleasca, L. Schiappacasse, J. Bourhis, M. Levivier, F. O. Bochud, R. Moeckli, "Commissioning of the Leksell Gamma Knife Icon", *Medical Physics*, Vol. 44, No. 2, pp. 355-363, 2017. <https://doi.org/10.1002/mp.12052>
- [5] 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. [https://doi.org/10.1016/0360-3016\(95\)00577-L](https://doi.org/10.1016/0360-3016(95)00577-L)
- [6] J. Novotny, J. P. Bhatnagar, A. Niranjana, M. A. Quader, M. S. Huq, G. Bednarz, J. C. Flickinger, D. Kondziolka, L. D. Lunsford, "Dosimetric comparison of the Leksell Gamma Knife Perfexion and 4C", *Journal of Neurosurgery*, Vol. 109, No. 6, pp. 8-14, 2008. <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/109/12/S3>
- [7] S. J. Jin, S. J. Kim, W. S. Seo, B. I. Hur, "Comparative Analysis of Treatment Planning System and Dose Distribution of Gamma knife Perfexion™ using EBT-3 Film", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 6, pp. 509-515, 2017. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2017.11.6.509>

감마나이프 퍼펙션의 자동환자이송장치에 대한 정렬됨 평가

진성진,¹ 김경립,² 허병익^{3,*}

¹인제대학교 해운대백병원 감마나이프센터

²양산부산대학교병원 신경외과

³부산대학교병원 신경외과

요 약

본 연구는 렉셀 감마나이프 퍼펙션 모델에서 다양한 무게를 가진 자동환자이송장치의 안정성 즉 정렬됨 평가를 위함이다. 퍼펙션 자동환자이송장치의 정렬됨을 평가하기 위해서 부산, 경남 소재 3개 대학병원에서 교정된 서비스 다이오드 테스트 도구를 사용하여 다중 빔의 방사선 초점과 감마나이프 교정 중심점의 일치성에 대한 방사상 편차 Δr 을 측정하여 평균하였다. 자동환자이송장치 상에 무게 없이 모든 콜리메이터 4, 8, 16 mm에 대한 중심 다이오드에 조사와 4 mm 콜리메이터에 대한 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 조사한 경우를 살펴보면 중심 다이오드에 4, 8, 16 mm 콜리메이터 각각 조사 시 검증 차이 즉 방사상 편차의 평균은 각각 0.058 ± 0.023 , 0.079 ± 0.023 , 0.097 ± 0.049 mm로 나타났고, 중심 다이오드, 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 4 mm 콜리메이터 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 0.058 ± 0.023 , 0.078 ± 0.01 , 0.070 ± 0.023 mm로 나타났다. 무게 없이 짧은 다이오드와 긴 다이오드에 8, 16 mm 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 $0.07 \pm 0.003(8 \text{ mm sd})$, $0.153 \pm 0.002 \text{ mm}(16 \text{ mm sd})$ 와 $0.031 \pm 0.014(8 \text{ mm ld})$, $0.175 \pm 0.01 \text{ mm}(16 \text{ mm ld})$ 로 측정되었다. 다양한 무게 50 ~ 90 kg을 자동환자이송장치에 올린 경우 4, 8, 16 mm에 대한 중심 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 $0.061 \pm 0.041 \sim 0.075 \pm 0.015$, $0.023 \pm 0.004 \sim 0.034 \pm 0.003$, $0.158 \pm 0.08 \sim 0.17 \pm 0.043$ mm를 나타냈다. 또한 동일한 상황에서 4, 8, 16 mm에 대한 짧은 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균은 각각 $0.063 \pm 0.024 \sim 0.07 \pm 0.017$, $0.037 \pm 0.006 \sim 0.059 \pm 0.001$, $0.154 \pm 0.03 \sim 0.165 \pm 0.07$ mm로 나타났다. 그리고 4, 8, 16 mm에 대한 긴 다이오드에 조사 시 방사상 편차의 평균이 각각 $0.102 \pm 0.029 \sim 0.124 \pm 0.036$, $0.035 \pm 0.004 \sim 0.054 \pm 0.02$, $0.183 \pm 0.092 \sim 0.202 \pm 0.012$ mm로 측정되었다. 수행된 모든 검증 결과는 제조사의 허용 편차 기준에 적합함을 확인할 수 있었다. 실제 치료 환경을 흉내 낸 자동환자이송장치에 올린 다양한 무게에 따른 정렬됨의 측정 결과 무게 의존성은 무시할 수 있음을 알 수 있었다. 저자들은 다양한 무게에 따른 자동환자이송장치의 검증 테스트가 렉셀 감마나이프 퍼펙션의 통상적인 정도관리를 위하여 적합한 것으로 확인하였다.

중심단어: 감마나이프 퍼펙션, 자동환자이송장치, 서비스 다이오드 테스트 도구, 방사상 편차

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	진성진	인제대학교 해운대백병원 감마나이프센터	방사선사
(공동저자)	김경립	양산부산대학교병원 신경외과	교수
(교신저자)	허병익	부산대학교병원 신경외과	교수