

## 감마나이프 정도관리에 관한 연구

경희대학교 의과대학 신경외과학교실\*, 경희대학교 의과대학 방사선종양학교실†  
원자력의학원 방사선종양학과†

서원섭\* · 신동오† · 지영훈† · 임영진\*

감마나이프는 일회에 대용량의 방사선량을 조사하여 뇌정위 방사선 수술을 하기 때문에, 주기적인 정도 관리가 매우 중요하다. 그러나 국내의 경우 학회 및 규제기관 차원에서 권고되고 있는 표준화된 정도관리 절차서가 없이, 각 기관별로 독자적인 정도관리 절차서를 개발하여 시행되고 있어, 기관별로 상호 비교하기가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 실정에 적합한 감마나이프 정도관리 프로그램을 개발하기 위해, 제조사, 미국 및 일본에서 권고하고 있는 정도관리 절차서를 수집하여 비교 분석하였다 또한 감마나이프에 대한 주기적인 정도관리 검사항목을 선량관련 검사항목, 기계적인 검사항목 및 안전 관리적인 측면으로 분류하였다. 미국의 경우 제조사 보다 엄격하게 권고 및 규제하고 있으며, 일본의 경우 미국의 절차서를 토대로 검사항목 및 주기를 권고하고 있다. 이를 토대로 국내 실정에 적합한 감마나이프 정도관리 절차를 제시하고자 한다.

**중심단어:** 감마나이프, 방사선수술, 정도관리

### 서 론

감마나이프는 코발트 선원(<sup>60</sup>Co)을 사용하여, 두개 내 병변의 위치에 많은 선량을 한번에 삼차원적으로 정확하게 전달하는 방사선 수술 장비로, 한번의 오차가 바로 치료 결과의 방향을 결정하게 된다.<sup>1-3)</sup> 그러므로 방사선치료에 사용하고 있는 선형가속기 등 방사선치료기와는 달리, 주기적인 정도관리의 중요성이 무척 크다고 할 수 있다. 1968년 감마나이프가 개발되었지만, 1980년대 중반부터 감마나이프 설치가 본격적으로 이루어지기 시작하여, 현재 전 세계적으로 177대가 설치되어 있으며, 우리나라는 6대가 설치되고, 향후 3대가 설치가 예정되어있어, 미국(72), 일본(41), 중국(15) 다음으로 감마나이프를 많이 보유하고 있다. 전 세계 177의 감마나이프가 연간 35,000여명의 환자를 치료하고 있으며, 국내는 연간 1,000명의 환자에 대해서 뇌 정위 방사선 수술을 시행하고 있다.

80년대 이후 양질의 의료서비스 및 의료사고에 대한 미연의 방지를 위해 방사선치료 관련 장비에 대한 정도관리에 대하여 관심을 가지고 법적 및 제도적 장치를 마련하였으며, 또한 감마나이프 역시 90년대 이후 급속한 보급과 동시에 이

에 대한 정도관리가 중요하게 되었다. 미국의 경우 감마나이프 정도관리는 연방법에서 검사 항목을 규정하고 있으며, 미국의학물리학회에서는 이 항목에 대해 수행 방법과 허용오차를 규정하고 있다.<sup>4-6)</sup> 일본의 경우 최근 의학물리학회에서 제조사의 권고지침을 토대로 감마나이프 정도관리 절차서를 발간하였다.<sup>7)</sup> 국내의 경우 표준화된 감마나이프 정도관리 절차서가 존재하지 않은 상태에서, 정도관리를 규제하는 법규가 시행됨에 따라, 각 기관마다 자체적으로 개발하여 사용하고 있는 실정이다. 그러므로 제조사, 미국 및 일본에서 권고하고 있는 감마나이프에 대한 정도관리 절차서를 비교 분석하여, 국내 실정에 적합한 표준화된 감마나이프 정도관리 절차를 제시하고자 한다.

### 대상 및 방법

감마나이프는 엘렉타, 스웨덴(Elekta AB, Stockholm, Sweden)회사에서 독점적으로 생산하는 장비로, 자체적으로 만든 인수검사 및 정도관리 절차서를 가지고 설치 시 인수검사와 연간 정도관리를 방문 시행하고 있다. 제조사에서는 그 동안의 정도관리에 관련된 문서들을 정리하여 1998년 발간하였으며, 또한 홈페이지에 자료를 공유할 수 있게 하였으며 이를 Table 1에 요약하였다.<sup>2,3)</sup> 미국의 경우 1990년대 초반에 방사선 관련 법규들이 핵 규제 위원회(Nuclear regulator committee)의해 강화되면서, 미국의학물리학회를 중심으로 방사선 수술에 관하여 정도관리를 연구한 후, 1995년 미국의

이 논문은 2003년 7월 21일 접수하여, 2003년 8월 18일 채택됨.  
책임저자: 서원섭, (130-702) 서울시 동대문구 회기동 1번지  
경희대학교 의과대학 신경외과학교실  
Tel : 02)958-8393, Fax : 02)958-8394  
E-mail : gkns@khmc.or.kr

**Table 1.** Quality assurance standards for Gamma Knife recommended by the manufacturer

분류	검사항목	허용오차	주기
선량관련	헬멧계수	×	×
	선량분포	확인	인수검사
	빔정확성	±0.5 mm	인수검사
	선량측정값과 계산값 차이	±1%	매월
	선량측정값과 감마플랜*값 차이	±3%	매월
기계적 검사	시간계 정확성과 선형성	×	×
	시간계 개폐 오차	×	×
	X 좌표 정확성	±0.5 mm	매주
	정위기구	기능(정상)	매월
	헬멧 마이크로스위치	0.1 mm	매주
안전관리	비상조절회로	기능(정상)	매월
	비상전원	기능정상	매월
	조정판 램프 검사	기능(정상)	매일
	출입문 연동장치	기능(정상)	매일
	방사선 조사를 알리는 방사선 모니터	기능(정상)	매일
	시청각 모니터 장비	기능(정상)	매일
	시간계에 의한 정지	기능(정상)	매일
비상 정지 버튼	기능(정상)	매일	

\*감마플랜:감마나이프수술 치료계획용 상용소프트웨어(Elektta AB, Stockholm, Sweden)

**Table 2.** Quality assurance standards for Gamma Knife published in American Association of Physicists in Medicine Report 54

분류	검사항목	허용오차	주기
선량관련	헬멧계수	±3%	매년
	선량분포	측정확인	매년
	빔정확성	±0.4 mm	매년
	선량측정값과 계산값 차이	±3%	매월
	선량측정값과 감마플랜 값 차이	±3%	매월
	시간계 정확성과 선형성		매월
	시간계 개폐 오차		매월
기계적 검사	X 좌표 정확성	±0.5 mm	매주
	정위기구	기능(정상)	매월
	헬멧마이크로스위치	0.1 mm	매주
	비상조절회로	기능(정상)	매월
	비상전원	기능정상	매월
	조정판 램프검사	기능(정상)	매일
	출입문 연동장치	기능(정상)	매일
안전관리	방사선 조사를 알리는 방사선 모니터	기능(정상)	매일
	시청각 모니터 장비	기능(정상)	매일
	시간계에 의한 정지	기능(정상)	매일
	비상 정지 버튼	기능(정상)	매일

학물리학회 보고서 54를 발간하였다(Table 2).<sup>4)</sup> Table 3에서 제시된 바와 같이 보다 강화된 연방법 10 CFR (Code of Federal Regulations) 35에서는 감마나이프 정도관리를 전체 교정과 주기적 교정으로 나누며 전체 교정의 경우 감마나이프 처음 설치 사용 시, 주기적 교정이 마지막 전체 교정과 5% 이상의 차이가 있을 때, 선원의 교체 또는 감마나이프의 다른 장소의 이동 설치 시, 그리고 선원과 관련된 중요한 부품 수리 시로 규정하며 1년을 넘지 않도록 규정하고 있다. 주기적 교정은 매월 또는 정해진 날짜에 실시하도록 규정하고 있다.<sup>6)</sup> 미국 다음으로 많은 감마나이프를 보유하고 있는 일본의 경우, 최근 일본의학물리학회에서 미국과 제조사의 정도관리를 혼합한 감마나이프 정도관리서를 발간하였다.<sup>7)</sup> 일본의 정도관리를 보면 항목과 허용오차는 미국의학물리학회 보고서를 바탕으로 하였으며, 측정 절차와 방법은 제조사의 지침서를 참고하였다(Table 4).

본 논문에서는 국내 실정에 맞는 감마나이프 정도관리를 위해 제조사, 미국 그리고 일본의 정도관리 항목을 상호 비교하였다. 비교 항목은 법적으로 가장 체계화된 미국 연방법에 규정하는 항목을 기준으로 하였다.<sup>6)</sup> 또한 이 항목은 선량관련 검사항목, 기계적인 검사항목 그리고 안전관리 검사항목으로 분류하여 각 항목에 대한 허용오차와 주기를 비교하였다.

**Table 3.** The test items of quality assurance for Gamma Knife in 10 CFR 35

전체 교정	주기적인 교정
출력	출력
헬멧계수	
빔정확성	
시간계 정확성과 선형성	시간계 정확성과 선형성
시간계 개폐 오차	시간계 개폐 오차
X 좌표 기구 정확성	X 좌표 기구 정확성
비상 전원	비상 전원
헬멧 마이크로 스위치	헬멧 마이크로 스위치
비상 조절회로	비상 조절회로
정위기구	정위기구
	선량측정값과 예상값과의 차이
	선량측정값과 감마플랜 값 차이
	출입문 연동장치
	시청각 모니터 시스템
	시간계에 의한 정지
	방사선 조사를 알리는 방사선 모니터
	비상 정지 버튼

**Table 4.** Quality assurance standards for Gamma Knife regulated by Japan Society of Medical Physics

분류	검사항목	허용오차	주기	
선량관련	헬멧계수	±3%	매년	
	선량분포	측정확인	매년	
	범정확성	±0.3 mm	매년	
	선량측정값과 계산값 차이	±2%	매년	
	선량측정값과 감마플랜값 차이	x	x	
	시간계 정확성과 선형성	2%	매월	
기계적 검사	시간계 개폐 오차	-0.03분	매월	
	X 좌표 정확성	±0.5 mm	매월	
	정위기구	기능(정상)	매월	
	헬멧마이크로스위치	0.1 mm	매월	
	비상조절회로	x	x	
	비상전원	x	x	
	안전관련	조정판 램프검사	기능(정상)	치료전
		출입문 연동장치	기능(정상)	치료전
방사선 조사를 알리는 방사선 모니터		기능(정상)	치료전	
시청각 모니터 장비		기능(정상)	치료전	
시간계에 의한 정지		기능(정상)	치료전	
	비상 정지 버튼	기능(정상)	치료전	

**Table 5.** Review of items of quality assurance for Gamma Knife

선량관련 검사항목	미국	제조사	일본
헬멧계수	○	x	○
선량분포	○	○	○
범정확성	○	○	○
선량측정값과 계산값 차이	○	○	x
선량측정값과 감마플랜값 차이	○	○	○
시간계 정확성과 선형성	○	x	○
시간계 개폐 오차	○	x	○

**결과 및 토의**

**1. 항목 비교분석**

안전관리 검사항목은 거의 동일하였으나, 선량관련 검사항목과 기계적 검사항목의 경우 Table 5에서 보듯이 차이가 있었다. 즉, 선량관련 검사항목의 경우 미국과 일본은 헬멧계수를 정도관리 항목으로 규정하고 있으나, 제조사는 규정하지 않고 있다. 또한 미국의 경우 일반 코발트 치료기의 시간계 관련(정확성, 선형성, 개폐오차) 개념을 감마나이프에도 적용하였으며, 이를 일본에서 채택하였다. 그러나 제조사에서는 이를 적용하지 않고 있다. 선량측정값을 계산에 의한 값과 비교하는 항목은 일본에서는 없었다. 기계적 검사항목 중 비상조절 회로와 비상전원에 의한 환자의 빼냄 항목이 일본

에서는 없었다.

**2. 허용오차 분석**

헬멧계수의 허용오차는 미국과 일본이 ±3%로 같았으며, 범 정확성의 경우 미국, 제조사 및 일본이 각각 ±0.4 mm, ±0.5 mm 및 ±0.3 mm으로 차이가 있었다. 선량측정값과 계산에 의한 값에서는 미국은 ±3%를 규정하고 있으나, 제조사는 ±1%로 하고 있으며, 선량측정값과 치료계획소프트웨어인 감마플랜값과의 차이는 미국과 제조사가 ±3%로 같았으나, 일본은 ±2%이었다. 시간계 정확성과 선형성의 경우 미국은 허용 범위 값을 정하지 않았지만, 일본은 ±2%로 정하고 있었다. 시간계 오차는 미국과 일본이 -0.03분으로 같았다. 기계적 검사항목은 미국, 제조사 및 일본이 모두 같은 허용치를 갖고 있었다. 안전관리 검사항목은 모두 정상적인 작동여부에 대한 기능 확인으로 동일하였다.

**3. 검사 주기 분석**

선량관련 검사항목에서 미국은 헬멧계수를 매년 측정하도록 하고 있으며, 선량분포의 경우, 일본이 매년 측정, 반면에 미국과 제조사는 인수검사에 시행하도록 하고 있다. 선량측정은 미국은 매월, 제조사는 3개월, 일본은 매년 주기로 시행하도록 권고하고 있다. 시간계와 관련된 검사항목은 미국과 일본이 매월 시행하도록 하고 있다. 기계적 검사항목은 제조사에서만 헬멧 마이크로 스위치와 X 좌표 기구를 매주 검사항목으로 두고 있으나, 미국과 일본의 경우 모두 매월 검사항목으로 하고 있었다. 안전관리 검사항목(조정판 램프 검사, 시간계에 의한 조사 중지, 출입문 연동장치, 시청각 모니터 시스템, 방사선 조사를 알리는 방사선 모니터 그리고 비상 정지 버튼)의 경우 제조사와 미국의 경우 매일 항목으로 정하고 있으나, 일본의 경우는 현실적인 측면을 반영하여 치료가 있는 날 시작 전으로 정하고 있었다.

**4. 국내 실정에 적합한 정도관리**

최근 강화되고 있는 국내 원자력법에 의학물리사 항목이 추가되었지만, 아직 제도화 되었다고는 할 수 없는 실정이다. 의학물리사가 법제화 및 제도권내에서 활동하고 있는 미국의 경우처럼 감마나이프에 대한 연방법 및 미국의학물리학회와 정도관리 절차서대로 검사항목과 주기를 적용하는 것은 어려운 실정이다. 그러므로 국내 실정에 적합한 감마나이프 정도관리에 관한 검사항목과 허용오차 및 시행 주기를 Table 6에서 제시하였다. 선량관리 검사항목으로는 방사선출력을 측정한 후 치료계획 소프트웨어인 감마플랜과 비교하는 항목으

**Table 6.** Suggestions for basic items to be included in quality assurance for Gamma Knife in Korea

분류	검사항목	허용오차	주기
선량관련	방사선출력측정		3개월
	선량측정값과 감마플랜값 차이	±3%	3개월
기계적 검사	X좌표 정확성	±0.5 mm	매월
	정위기구	기능(정상)	매월
	헬멧 마이크로스위치	0.1 mm	매월
	비상전원	기능(정상)	매월
안전관리	조정판 램프검사	기능(정상)	치료전
	출입문 연동장치	기능(정상)	치료전
	방사선 조사를 알리는 방사선 모니터	기능(정상)	치료전
	시청각 모니터 장비	기능(정상)	치료전
	시간계에 의한 정지	기능(정상)	치료전
	비상 정지 버튼	기능(정상)	치료전
	공간누설방사선	측정기록	매월
	문지름검사	200Bq	매년

로 허용오차는 ±3%이고 주기는 3개월로 하며, 기계적 검사 항목은 모두 매월 주기로 시행하며 X 좌표 정확성, 허용오차 ±0.5 mm, 헬멧 마이크로스위치, 허용오차 0.1 mm 이며, 정위기구검사와 비상전원검사의 정상기능을 확인하도록 한다. 안전관리 검사항목은 일본의 경우처럼 치료 시작 전으로 하고 조정판 램프검사, 출입문 연동장치, 방사선조사를 알리는 방사선 모니터, 시청각 모니터, 시간계에 의한 정지 및 비상 정지 버튼 항목을 포함한다. 여기에 원자력법에서 요구하는 공간누설방사선 측정항목과 과학기술부고시 제2001-20호 “방사선원의 누설점검에 관한 기술기준”에 맞게 누설 검사항목을 추가하였다.<sup>8)</sup> 또한 제시된 감마나이프 정도관리 프로그램에 따라 외부 자격 있는 의학물리학자에 의해 감마나이프 정도관리를 수행함으로써 감마나이프에 대한 품질보증 및 양질의 의료서비스를 제공할 것으로 사료된다.

### 결 론

본 연구에서는 제조사, 미국 및 일본에서 권고하고 있는 감마나이프에 대한 인수 및 정도관리 절차를 비교 분석한

후 국내 실정에 적합하게 검사 항목, 검사 주기 및 허용오차를 제시하였다. 비록 정도관리가 의학물리학자에게 많은 업무적 부담을 주는 단점이 있지만, 정도관리를 감마나이프 시술 전 그리고 주기적으로 시행함으로써 수술의 정확성을 향상시키며 환자와 의료인의 안전을 확보할 수 있을 것이다. 또한 표준화된 정도관리는 서로 비교가 가능함으로써 선진국형의 표준화된 정도관리 절차를 확립할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력중장기 연구개발사업(M20330010001-03A0724-00110)의 일환으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Wu A, Lindner G, Maitz AH, et al.: Physics of gamma knife approach on convergent beams in stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 18: 941-949 (1990)
2. Elekta <http://extranet.elekta.com/lgk>. Doc Art No 006628 Rev. 01: Gamma Knife instructions for use. US/English, April (1998)
3. Elekta <http://extranet.elekta.com/lgk>. Doc Art No. 006930, Rev, 00: Gamma Knife technical overview. US/English, April (1998)
4. AAPM Report No. 54: Stereotactic Radiosurgery (1995)
5. Maitz AH, Wu A, Lunsford LD, Flickinger JC, Kondziolka D, Bloomer WD: Quality assurance for gamma knife stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 32:1465-1471 (1995)
6. 10 CFR 35: Medical use of byproduct Material
7. 日本醫學物理學會編: 定位放射線照射のための線量標準測定法 (2001)
8. 과학기술부고시 제2001-20호: 방사선원의 누설점검에 관한 기술기준 (2001)

## A Study on Quality Assurance for Gamma Knife

Won-Seop Seo\*, Dong Oh Shin<sup>†</sup>, Young-Hoon Ji<sup>‡</sup>, and Young-Jin Lim\*

*\*Department of Neurosurgery, <sup>†</sup>Department of Radiation Oncology,  
College of Medicine, KyungHee University*

*<sup>‡</sup>Department of Radiation Oncology, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences Medicine*

It is strongly recommended that periodic quality assurance should be carried out in the Gamma Knife that is used in radiosurgery since high radiation is delivered in one session. Since the protocols for Gamma Knife recommended by associations or agencies on quality assurance are absent in Korea, hospitals possessing the Gamma Knife have developed their own protocols. In order to develop a quality assurance protocol suitable for Korea, we reviewed the protocols of the Gamma Knife manufacturer, USA and Japan. we categorized the periodic items into three parts; radiation dose, mechanical and safety part. The USA recommended and regulated more strict than the manufacturer. Japan recommended the items and frequency based on the USA. In conclusion, we tried to suggest a basic Gamma Knife quality assurance protocol suitable for Korea.

**Key Words :** Gamma knife, Radiosurgery, Quality assurance