

사이버나이프의 품질관리 절차서 개발

강남성모병원 사이버나이프센터*, 원자력의학원 사이버나이프센터†, 원자력의학원 방사선종양학과‡, 가톨릭대학교 의과대학 방사선종양학교실§, 신경외과학교실||, 경희대학교 의과대학 방사선종양학교실¶, 경기대학교 의학물리학과#

장지선*# · 이동한† · 강영남§ · 신동오¶ · 김문찬|| · 윤세철§
최일봉§ · 김미숙† · 조철구† · 류성렬† · 권수일#

목적: 국내 실정에 적합한 사이버나이프의 표준화된 품질관리 절차서가 없어 이를 개발하고 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법: 사이버나이프의 구조적 특성과 치료 방법 등을 고려하여 품질관리 검사항목을 설정한 후, 적합한 시행 시기에 맞추어 주기적 분류를 하였다. 그리고 설정된 항목들은 각각의 품질관리 목적에 따라 일반적인 품질관리(basic QC), 치료정확도 품질관리(delivery specific QC), 환자 맞춤형 품질관리(patient specific QC) 등 3개의 분야로 구분하였다. 국내의 두 개 기관을 대상으로 개발된 품질관리 절차서의 각 항목을 비교하여 허용오차를 분석하였다. 설정된 항목에 대한 허용 오차는 제작사에서 제공된 품질관리 자료와 현재 국내에 설치되어 있는 두 개 기관의 최근 3년간의 품질관리 수행 데이터 등을 근거하였으며, 각 항목에 대한 측정 결과를 토대로 품질관리 실태를 분석하고 개발된 품질관리 절차서의 타당성을 검증하였다.

결과: 개발된 사이버나이프 품질관리 절차서의 항목에 대하여 두 개 기관을 대상으로 정확성을 상호 비교 분석하였다. 모든 측정 결과는 사이버나이프의 품질관리 절차서에서 제시한 허용오차 범위 내에서 일치하고 있음을 확인하였다.

결론: 본 연구에서 개발된 품질관리 절차서를 통해 사이버나이프에 대한 성능평가 기준을 확립할 수 있으며, 영상유도 정위방사선치료에 대한 정확성 및 안전성을 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

핵심용어: 사이버나이프, 정위방사선치료, 품질관리 절차서

서 론

사이버나이프는 정위방사선치료 장비로 스탠포드 대학의 뇌신경외과 의사 John Adler 등에 의해 Accuray 제작사에서 개발된 장비이다. 사이버나이프는 고정밀 로봇, 초경량 선형가속기, 영상추적장비, 치료계획장치 등으로 구성된 통합시스템으로 비침습적 방사선치료를 행하는 것이 가능하다. 종래의 정위방사선치료 시스템에서는 정위의 수단으로 침습적인 고정용 틀(frame)이 필요하지만 사이버나이프는 영상추적장치에 의해 간단한 고정으로 정위방사선

치료가 가능하다.^{1~4)}

사이버나이프를 이용한 정위방사선치료는 1회 또는 소분할조사에 의해 고선량을 병변 부위에 집중시켜 치료를 행하기 때문에 일반적인 방사선 치료장치보다 더 높은 정확성 유지가 필요하며, 이러한 이유로 장비의 정확성 유지 및 관리를 위한 품질관리 절차서가 요구된다.

현재 선형가속기나 감마나이프를 이용한 정위방사선치료에 대해서는 품질관리 절차서가 많은 연구자들에 의해 개발되어 임상에서 수행되고 있고 미국의학물리학회(AAPM), 유럽 치료방사선 학회(ESTRO), 일본의학물리학회 등에서 보고서를 발행하였다.^{5~7)} 또한 이를 바탕으로 국내 실정에 맞는 품질관리에 관한 연구가 진행되어 논문으로 발표되어 있다.^{8,9)}

사이버나이프의 경우 제조사인 Accuray 제작사에 의해 제공되는 절차서가 있어 검사 항목을 규정하고 있다.^{10,11)} 일본의 경우 최근 제조사의 절차서를 기준으로 사이버나

이 논문은 2006년 8월 18일 접수하여 2006년 9월 12일 채택되었음. 본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

책임저자: 이동한, 원자력의학원 방사선종양학과
Tel: 02)970-1474, Fax: 02)970-2406
E-mail: hanny@kcch.re.kr

이프 품질관리 절차를 발간하였다. 국내의 경우 체계화된 품질관리 절차서가 존재하지 않으므로 이에 대한 개발이 필요한 실정이다. 사이버나이프를 사용한 정위방사선치료의 특징을 고려해서 기존의 선형가속기 기반 품질관리를 분류하는 것도 의미가 있지만 환자별 맞춤형 치료를 위한 환자관련 품질관리 검사 항목에 대한 주기적인 품질관리 및 평가가 이루어져야 한다. 이는 정위방사선치료가 환자에게 1회에 고선량을 조사하기 때문에 품질관리가 이루어지지 않을 경우 치명적인 손상 및 부작용이 발생할 가능성이 크기 때문이다.

본 연구에서는 사이버나이프에 대한 품질관리 절차를 일반적인 품질관리(basic QC), 치료정확도 품질관리(delivery specific QC), 환자맞춤형 품질관리(patient specific QC)의 3개의 분야로 구분하였다. 또한 정위방사선치료에서 공통적으로 품질 보증되어야 하는 1) 종양위치의 정확성, 2) 기계적 정확성, 3) 선량분포의 정확성, 4) 방사선 안전관리를 포함한 품질관리 절차를 개발하여 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 사이버나이프 시스템 개요

1) 선형가속기

X band의 RF를 사용하는 것으로 소형 경량화(150 kg)되어 있으며, 6 MV X-선을 선량률 300 cGy/min로 방출하고 있다. 조준기는 5~60 mm까지 총 12개로 구성되어 있다.

2) 로봇팔

6축의 자유도(관절)를 가진 로봇 팔은 머리부분에 선형가속기를 장착하고 있다. 조사면 중심에서 반경 80 cm의 구면상에서 100개의 조사점(node)을 설정하고, 각 점에서 각각 12방향으로 조사 가능하다. 그러므로 최대 1,200개의 빔을 이용하는 것이 가능하다.

3) 위치인식시스템(target locating system, TLS)

CT 데이터로부터 재구성된 화상(DRR)과 치료실의 천정에 45도 각도로 장착된 두 방향의 진단용 X-선에 의해 획득한 영상을 이용하여 종양의 위치를 확인한다. 이러한 방식으로 6차원적 공간좌표에 의한 종양 위치추적이 가능하며 기존의 정위적 틀에 의한 좌표 인식이 아닌 두개골과 몸에 삽입된 금침에 의해 종양의 위치를 인식한다.

4) 치료계획장치(treatment planning system, TPS)

치료계획 작성에는 주로 구형의 종양의 치료에 대해서 행하는 single center planning과 부정형 종양의 치료에 대해서 행하는 conformal shape planning이 있으며 순방향 및 역

치료계획 등이 있다.

2. 품질관리 항목 설정

사이버나이프는 Accuray (Accuray, Inc., Sunnyvale, CA)에서 제작한 장비로, 제작사에서 자체적으로 만든 인수검사 및 품질관리 절차를 이용하여 설치 시 인수검사 및 품질관리를 시행하고 있다. 제조사에 제공하고 있는 사이버나이프의 품질관리 절차서는 Table 1에 요약하였다.^{10,11)} 일본의 경우 최근 제조사에서 권고하고 있는 품질관리 절차를 토대로 일본 실정에 적합하게 사이버나이프의 품질관리 절차를 개발하여 수행하고 있다(Table 2). 사이버나이프는 로봇팔에 초소형의 선형가속기를 장착한 정위방사선치료 장비이다. 또한 위치인식시스템에 의해 환자위치를 인식하고 환자가 움직일 경우에도 목표점을 추적하여 조사가 가능하기 때문에 침습적인 고정틀이 불필요하다. 본 연구에서는 이러한 사이버나이프의 특성을 고려한 항목들을 설정한 후 주기적 분류를 하였으며 일반적인 품질관리, 치료정확도 품질관리, 환자맞춤형 품질관리 등의 3개의 분야로 구분하였다.

1) 일반적인 품질관리(basic QC)

일반적인 선형가속기에서 적용된 기계적 정확성, 에너지 정확성, 선량분포 정확성, 치료계획장치의 정확성, 안전성에 대한 항목들이다.

Table 1. Summary of Accuray's Recommendation for a Quality Assurance

Frequency	Item	Tolerance
Daily	System status check	
	Linac output constancy check	±3%
Monthly	Safety interlock check	
	Beam calibration check	±3%
	Linac laser mechanical alignment check	1 mm
	Linac laser/radiation field alignment check	2 mm
	Beam parameters check	
	Robot mastering check	
	Visual targeting check	
	Imaging alignment	±2 pixels
	Beam energy (PDD ₁₀)	60±2%
	Film phantom targeting test	±1.8 mm
Quarterly	Target locating system tracking test	
Annual	Beam commissioning spot checks	
	Treatment planning system tests	
	Safety system tests	

2) 치료정확도 품질관리(delivery specific QC)

사이버나이프에서만 적용되는 항목들이며 End-to-End test, visual targeting test, IPS (image processing subsystem) 등이다.

End-to-End test는 사이버나이프의 선형가속기, 로봇팔, 위치인식시스템, 치료계획장비 등 사이버나이프의 전체적인 시스템을 평가하는 방법이다. End-to-End test에 사용되

는 “Lucy” 팬텀(Accuray, Inc., Sunnyvale, CA) (Fig. 1)은 5개의 fiducial 표시자가 삽입되어 있고 radiochromic 필름을 삽입할 수 있도록 구성되어 있어 skull 추적뿐만 아니라 fiducial 추적이 가능하도록 설계되어 있다. “Lucy” 팬텀은 3D 또는 6D 두부 치료 및 체부치료에 사용될 수 있다. 이 검사는 사이버나이프가 시스템적으로 높은 정확도를 보여 주도록 고안되었다. 그것은 선형가속기, 로봇팔, 치료계획, 그리고 안정한 하부구조를 높은 정확도로 통합하는 검사이다.^{10~14)}

Visual targeting test (BB test)란 사이버나이프의 모든 시스템(CT, 선형가속기, 로봇팔, 위치인식시스템, 치료계획장치)의 정확성을 시각적으로 확인하는 방법이다. 팬텀에 작은 금속 BB를 부착하여 치료와 동일한 조건으로 CT 촬영을 한다. 모든 빔이 BB의 중심을 향하도록 치료계획을 수립한다. 이 팬텀을 치료와 동일하게 설치하고 로봇을 이동한다. 이때 선형가속기에서 방출되는 X-선의 중심축과 일치한 레이저가 BB와 일치해야 한다.

IPS는 TLS를 이용한 영상 과정 시스템의 정확도를 확인하는 항목이다. 이 항목의 중요한 목적은 정확하게 환자의 위치를 평가하는 것이다. TLS는 환자가 허용된 움직임의 범위 이상으로 움직일 경우 이를 인식하고 위치를 보정하도록 한다.

3) 환자맞춤형 품질관리(patient specific QC)

본 항목은 환자치료 전에 그 치료에 대한 모의치료로써 행해지고 있다. 치료계획에 의해 정해진 로봇 움직임에 의한 정확성, 치료계획에 의한 방사선분포와 실제 치료에서의 정확성 등을 확인한다. 이 과정은 환자 치료 전 각 환자

Table 2. Summary of Japan for a Quality Assurance

Frequency	Item	Tolerance
Daily	System status check	±3%
	Linac output constancy check	
	Safety interlock check	
	Visual targeting check	
Weekly	Beam calibration check	±3%
	Film phantom targeting test	±1.8 mm
Monthly	Beam parameters check	±2 pixels
	Robot mastering check (visual)	
	Imaging alignment	
	Beam energy (PDD ₁₀)	
Quarterly	Target locating system tracking test	60±2%
	Linac laser mechanical alignment check	
	Linac laser/radiation field alignment check	
Annual	Beam commissioning spot checks	1 mm
	Treatment planning system tests	
	Safety system tests	
	Robot mastering check (electric)	
	Couch indexing accuracy	

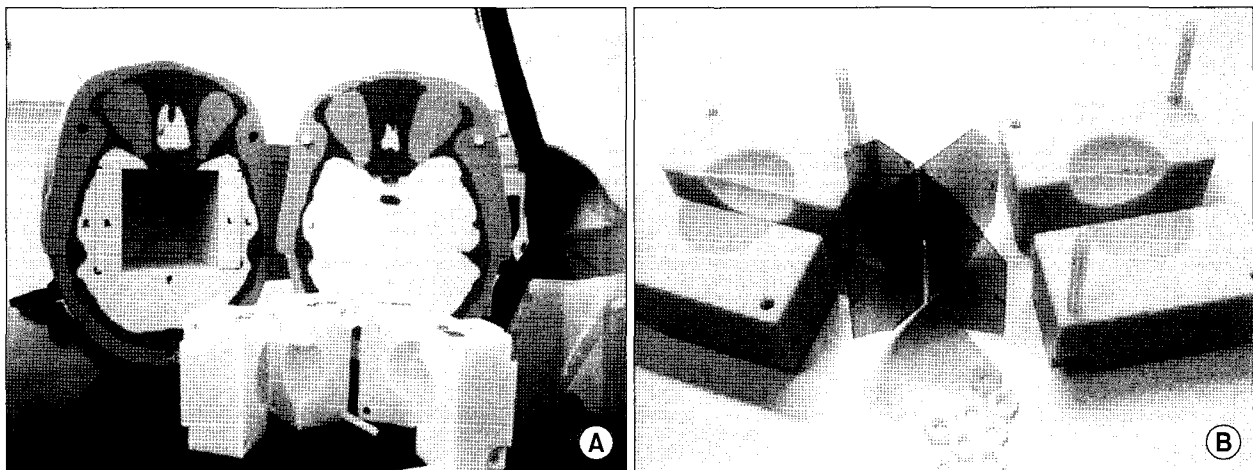


Fig. 1. (A) Photograph of the anthropomorphic head phantom with cavity for holding ball-cube. (B) Photograph of the ball-cube targeting tool combines treatment target, film holder, and fiducial container. The ball-cube is made of four pieces. The acrylic ball is placed in the center of the cube. Five fiducials are also placed in the cube to allow fiducial tracking.

별로 수행된다.

3. 품질관리 절차서 허용오차 분석

국내에 사이버나이프가 설치된 두 개 기관을 대상으로 개발된 품질관리 절차서의 각 항목을 비교하여 허용오차를 분석하였다. 각 항목에 대한 허용 오차는 제작사에서 제공된 품질관리 자료와 현재 국내 설치되어 있는 두 개 기관의 3년간의 품질관리를 수행한 데이터를 근거로 하여 설정하였다. 품질관리 절차서의 항목에 대하여 측정을 실시하여 오차에 대한 분석 및 검증을 하였다.

일반적인 품질관리의 경우 기존에 사용되어오던 국내 및 국외 선형가속기 품질관리 절차서에 의한 오차와 사이버나이프 제조사에서 제공된 품질관리 절차서의 오차를 비교하고 측정을 통하여 적합한 허용오차를 설정하였다. 소조사면에 대한 품질관리를 위하여 사이버나이프에서 사용되고 있는 12개 조준기에 대하여 다이오드 검출기(PTW-Freiburg, Germany) 및 0.015 cc 이온 전리함(PTW-Freiburg,

Germany)을 이용하여 출력인자를 측정하였다. 검출기 및 이온 전리함은 물팬텀에서 SSD 80 cm, 깊이 1.5 cm에서 측정하였으며, 각 조준기의 출력인자는 사이버나이프의 최대 조사면의 크기인 직경 60 mm 조준기의 출력인자 값에 대하여 규격화하였다.

치료정확도 품질관리는 사이버나이프에만 적용되는 항목으로서 제조사에서 제공된 허용오차를 반복 측정을 통하여 검증을 실시하여 적합성을 확인하였다. 환자맞춤형 품질관리는 환자에 직접 관련된 항목인 만큼 기존의 세기변조방사선치료(IMRT)에서 적용된 오차와 본 장비에 의해 시행된 데이터를 비교 분석하여 적합한 허용오차를 설정하였다.

결 과

1. 품질관리 절차서 항목 설정

사이버나이프에 대한 제작사 및 일본의 품질관리 절차

Table 3. Quality Assurance for CyberKnife in Korea

	Topic	Item	Tolerance	Frequency		
Basic QC	TPS subsystem	TPS display		Annual		
		TPS distance measurement and coordinates		Annual		
TPS dose calculations			Annual			
Linac subsystem	Linac subsystem	X-ray energy (PDD ₁₀)	60±2%	Monthly		
		Dose rate	>300 cGy/min	Monthly		
		Beam flatness	12%	Monthly		
		Beam symmetry	2%	Monthly		
		X-ray leakage	0.1%	Monthly		
		Penumbra	7 mm	Monthly		
		Collimator transmission	1%	Monthly		
		Dosimetry precision	±1%	Monthly		
		Linearity	±1%	Monthly		
		Rotational stability test	±2%	Monthly		
		Linac laser mechanical alignment check	1 mm	Monthly		
		Linac laser/radiation field alignment check	2 mm	Monthly		
		Linac output constancy check	±3%	Daily		
		Beam calibration check	±3%	Weekly		
		Safety subsystem	Safety subsystem	Safety interlock check		Daily
				Beam on light		Daily
Door interlock				Daily		
All the EPO buttons				Annual		
SF ₆ pressure interlock	26 psi			Annual		
Water flow interlock				Annual		
A spot check of the PDP model and interlock				Annual		
Delivery specific QC	Delivery specific QC	Collision avoidance	>50 mm	Annual		
		Film phantom targeting test (End-to-End test)	±1.8 mm	Monthly		
		Visual targeting check (BB test)		Monthly		
		Image processing subsystem (IPS)		Annual		
Patient specific QC	Patient specific QC	Robot manipulator subsystem	0.5 mm	Annual		
		Simulation	±5%	Before the treatment		
		Translation	1 mm	Annual		
		Rotation	2 mm	Annual		

서는 각 주기별 품질관리 항목에 대하여 차이를 보였다. 본 논문에서는 제작사 및 일본에서 권고하고 있는 검사 항목 및 허용오차 등을 비교하여 국내 실정에 적합한 사이버나이프의 품질관리 절차서의 품질관리 항목을 개발하였다 (Table 3).

일본의 경우 visual targeting check에 관해서는 제조사에서 월 1회 시행하는 것에 반하여 모든 치료가 안전하게 행하는 것을 확인하기 위하여 치료 전에 매일 실시하고 있다. 치료정확도 품질관리 중 film phantom targeting 검사 항목은 제조사에서 월 1회 검사를 규정하고 있는데 반해 일본에서 주 1회로 규정하고 있다. 일본에서는 환자 치료의 모의치료계획으로써 행하는 테스트로 있는 것으로 치료개시 당초에 모든 증례에 이 점검을 행하고 있지만 오차의 경향이 크지 않아 주 1회 행하고 있다. 본 논문에서는 국내 사이버나이프 설치 후 측정된 데이터를 분석해 본 결과 월 1회 측정 시 오차 정도가 허용오차를 벗어나지 않음을 확인하고 월 1회 검사항목으로 규정하였다.

일본의 경우 선량분포의 점검은 비정기적으로 행하고 있지만 주 1회 film phantom targeting 검사와 동시에 실시하는 것을 고려하고 있다. 이들 항목 이외에 증례 등에 치료 전 MU 점검, 치료 후에 치료 시의 조사선량, 로봇 위치를 시스템에 남아있는 로그 데이터에서 확인을 하고 있다.

2. 품질관리 절차서 허용오차 분석

개발된 사이버나이프 품질관리 절차서의 일반적인 품질관리, 치료정확도 품질관리, 환자맞춤형품질관리 분야에 대하여 두 개 기관을 대상으로 정확성을 측정하여 평가하였다 (Table 4).

1) 일반적인 품질관리(basic QC)

선형가속기의 기계적 정확성 및 선량분포 정확성을 확인하기 위하여 빔 에너지 및 매개변수(대칭성, 평편도, 반음영) 등을 측정하여 모두 허용오차 범위 내에서 일치함을 보였다. 선형가속기의 레이저가 정확하게 1 mm 이내로 회전중심점을 지시하고 있음을 확인하였고, 각 조준기별로 조사된 필름의 분석 결과 2 mm 이내로 조사면이 일치함을 확인하였다. Safety subsystem은 여러 가지 연동장치에 대한 정상적인 작동 여부 및 치료가 안전하게 시행될 수 있는지에 대하여 각 항목별로 점검하여 정상적으로 작동함을 확인하였다. 소조사면에 대한 품질관리를 위하여 사이버나이프 시스템의 12개의 조준기별로 두 개 기관의 출력인자를 측정하였다. 기관별 12개의 조준기에 대한 출력인자는 Table 5에 나타내었다. 측정된 출력인자 값은 조준기의 크기가 30 mm 이상인 경우 ±1% 이내로 상호 잘 일치함을 보였으나 15 mm 이하의 조준기에서는 출력인자 값이 3~9%까지 차이가 있음을 확인하였다. 이는 두 기관의

Table 4. Comparison of QA between Accuray, A and B Hospital

Item	Accuray	A hospital	B hospital
X-ray energy (PDD ₁₀)	60.00±2%	60.39%	58.30%
Dose rate	>300 cGy/min	305 cGy/min	310 cGy/min
Beam flatness	X 12.00%	2.27%	3.80%
	Y 12.00%	1.85%	5.00%
Beam symmetry	X 2.00%	0.58%	1.50%
	Y 2.00%	0.49%	1.90%
X-ray leakage	0.10%	0.09%	0.07%
Penumbra	X 7.00 mm	3.82 mm	3.90 mm
	Y 7.00 mm	3.48 mm	3.60 mm
Collimator transmission	1.00%	0.01%	0.13%
Dosimetry precision	±1.00%	±0.08%	±0.13%
Linearity	±1.00%	±0.30%	±1.12%
Linac laser mechanical alignment	1.00 mm	1.00 mm	1.00 mm
Linac laser/radiation field alignment	2.00 mm	1.00 mm	1.00 mm
IPS_6D skull	Translation 1.00 mm	0.59 mm	0.66 mm
	Rotation 2.00 mm	0.62 mm	0.56 mm
IPS_6D fiducial	Translation 1.00 mm	0.22 mm	0.29 mm
	Rotation 2.00 mm	0.05 mm	0.36 mm
Robot manipulator subsystem	0.50 mm	0.10 mm	0.32 mm
Beam calibration check	±3.00%	±1.00%	±2.00%

Table 5. Comparison of Relative Output Factors between Accuray, A and B Hospital

Collimator size (mm)	A hospital (diode detector)	B hospital (ion chamber)
5	0.663	0.615
7.5	0.864	0.788
10	0.909	0.853
12.5	0.944	0.899
15	0.960	0.928
20	0.976	0.960
25	0.983	0.974
30	0.986	0.980
35	0.989	0.986
40	0.992	0.989
50	0.996	0.996
60	1.000	1.000

출력인자 측정에 있어 다이오드 검출기 및 이온 전리함을 사용하였기 때문으로 생각된다.

2) 치료정확도 품질관리(delivery specific QC)

Film phantom targeting 검사에 대하여 End-to-End test를 이용하여 skull 추적 및 fiducial 추적의 두 가지 방법으로 조사된 radiochromic 필름을 분석하였다. End-to-End test를 수행한 결과 A기관의 경우 skull과 fiducial 추적 모드에서 각각 0.672 mm, 0.548 mm의 오차를 보였으며 B기관의 경우 skull과 fiducial 추적 모드에서 각각 0.664 mm, 0.524 mm의 오차를 보였다(Table 6). CT 촬영에서 방사선 조사까지의 모든 기하학적인 오차를 포함한 전체적인 시스템의 정확성은 두 기관에서 모두 1 mm 이내였다. 그러나 이 결과는 팬텀에 대한 결과로 치료중의 환자의 움직임에 의한 오차는 고려되지 않았다.

3) 환자맞춤형 품질관리(patient specific QC)

제작사에서 권고하고 있는 치료계획 자료와 측정 데이터간의 허용오차는 ±5%이나 본 연구를 통해 측정된 결과 최소 1% 이하에서 최대 7%까지 차이를 나타내고 있다.

두 기관에 대한 측정 결과는 사이버나이프의 품질관리 절차서에서 제시한 허용오차 범위 내에서 일치하고 있음을 확인하였다.

고안 및 결론

본 연구에서는 제조사 및 일본에서 권고하고 있는 사이버나이프에 대한 인수 및 품질관리 절차서와 기존의 선형 가속기의 국내외 품질관리 절차서를 비교 분석하여 국내 실정에 맞는 품질관리 절차서를 개발하였다. 개발된 품질관리 절차서는 영상유도 정위방사선치료에 대한 정확성

Table 6. Comparison of End-to-End Test between Accuray, A and B Hospital

Institute	6D skull mode	6D fiducial mode
Accuray	1.800 mm	1.800 mm
A hospital	0.672 mm	0.548 mm
B hospital	0.664 mm	0.524 mm

및 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 두 개 기관의 사이버나이프의 출력인자를 측정된 결과 검출기의 종류에 따라 차이가 있음을 확인하였다. 이는 깊이에 따른 급격한 선량률 변화와 측방쪽으로의 전자평형상태가 이루어지지 않았기 때문이라고 하겠다.^{15~17)} 사이버나이프의 소조사면에 대한 출력인자의 보다 정확한 결정을 위하여 향후 몬테카를로 계산 등을 병행한 연구를 수행하여 평가하는 것이 필요하다고 생각된다. 치료정확도 품질관리 중 film phantom targeting 검사 항목은 팬텀으로 수행하기 때문에 치료중의 환자의 움직임에 의한 오차는 고려되지 않았다. 향후 치료중의 환자의 움직임도 고려된 검사 방법을 개발하여 film phantom targeting 검사 항목의 정확성을 평가할 필요가 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Adler JR Jr, Murphy MJ, Chang SD, et al. Image-guided robotic radiosurgery. *Neurosurgery* 1999;44:1299-1307
2. Kuo JS, Yu C, Petrovich Z, et al. The CyberKnife stereotactic radiosurgery system: description, installation, and an initial evaluation of use and functionality. *Neurosurgery* 2003;52:1235-1239
3. Murphy MJ, Cox RS. The accuracy of dose localization for an image-guided frameless radiosurgery system. *Med Phy* 1996;23:2043-2049
4. Murphy MJ. An automatic six-degree-of-freedom image registration algorithm for image-guided frameless stereotaxic radiosurgery. *Med Phy* 1997;24:857-866
5. AAPM Report No. 54. Stereotactic radiosurgery. 1995
6. ESTRO. Practical guideline for the implementation of a quality system in radiotherapy. 1998
7. 日本醫學物理學會. 定位放射線照射のための線量標準測定法-STI의線量とQA- 通商産業研究社. 2001
8. Lee R, Lee S, Choi J. Comparison of QA protocols for linear accelerator published in Europe, Ammerica, and Japan. *Korean J Med Phys* 2003;14:20-27
9. Seo WS, Shin DO, Ji YH, Lim YJ. A study on quality assurance for Gamma Knife. *Korean J Med Phys* 2003;14:184-188
10. Accuray Rev. C. CyberKnife commissioning and quality assurance. 2003
11. Accuray Rev. H. CyberKnife SRS system acceptance tests.

2004

12. Shiomi H, Inoue T, Nakamura S, et al. Quality assurance for an image-guided frameless radiosurgery system using radiochromic film. *Radiat Med* 2000;18:107-113
13. Chang SD, Main W, Martin DP, et al. An analysis of the accuracy of the CyberKnife: a robotic frameless stereotactic radiosurgical system. *Neurosurgery* 2003;52:140-147
14. Cheng Y, Main W, Taylor D, et al. An anthropomorphic phantom study of the accuracy of CyberKnife spinal radiosurgery. *Neurosurgery* 2004;55:1138-1149
15. Yu C, Jozsef G, Apuzzo MLJ, et al. Measurements of the relative output factors for CyberKnife collimators. *Neurosurgery* 2004;54:157-162
16. Deng J, Guerrero T, Ma CM, Nath R. Modelling 6 MV photon beams of a stereotactic radiosurgery system for Monte Carlo treatment planning. *Phys Med Biol* 2004;49:1689-1704
17. Jang JS, Kang YN, Shin DO, et al. Analysis of relative output factors for CyberKnife: comparison of ion chambers, diode detector and films. *Korean J Med Phys* 2006;17:47-53

Abstract

The Development of Quality Assurance Program for CyberKnife

Jisun Jang, M.S.*#, Dong Han Lee, M.S.†, Young Nam Kang, Ph.D.§, Dong Oh Shin, Ph.D.¶, Moon Chan Kim, M.D.‡, Sei Chul Yoon, M.D.§, Ihl Bohng Choi, M.D.§, Mi Sook Kim, M.D.†, Chul Koo Cho, M.D.†, Seong Yul Yoo, M.D.† and Soo Il Kwon, Ph.D.#

*CyberKnife Center, Kangnam St. Marys Hospital, †CyberKnife Center,

‡Department of Radiation Oncology, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences,

Departments of §Radiation Oncology, ¶Neurosurgery, The Catholic University of Korea,

Collage of Medicine, ¶Department of Radiation Oncology, School of Medicine,

Kyung Hee University, Seoul, #Department of Medical Physics, Kyonggi University, Suwon, Korea

Purpose: Standardization quality assurance (QA) program of CyberKnife for suitable circumstances in Korea has not been established. In this research, we investigated the development of QA program for CyberKnife and evaluation of the feasibility under applications.

Materials and Methods: Considering the feature of constitution for systems and the therapeutic methodology of CyberKnife, the list of quality control (QC) was established and divided dependent on the each period of operations. And then all these developed QC lists were categorized into three groups such as basic QC, delivery specific QC, and patient specific QC based on the each purpose of QA. In order to verify the validity of the established QA program, this QC lists was applied to two CyberKnife centers. The acceptable tolerance was based on the undertaking inspection list from the CyberKnife manufacturer and the QC results during last three years of two CyberKnife centers in Korea. The acquired measurement results were evaluated for the analysis of the current QA status and the verification of the propriety for the developed QA program.

Results: The current QA status of two CyberKnife centers was evaluated from the accuracy of all measurements in relation with application of the established QA program. Each measurement result was verified having a good agreement within the acceptable tolerance limit of the developed QA program.

Conclusion: It is considered that the developed QA program in this research could be established the standardization of QC methods for CyberKnife and confirmed the accuracy and stability for the image-guided stereotactic radiotherapy.

Key Words: CyberKnife, Stereotactic radiotherapy, Quality assurance program