

## 방사선치료계획 시스템의 정도관리 절차서 개발 및 유용성 평가

\*순천향대학교 의과대학 방사선종양학교실, †가천의과대학교 방사선종양학교실, ‡경희대학교 의과대학 방사선종양학교실, §경기대학교 의학물리학과, ¶국민건강보험공단 일산병원 방사선종양학과

조광환\*<sup>§</sup> · 최진호<sup>†</sup> · 신동오<sup>‡</sup> · 권수일<sup>§</sup> · 최두호\* · 김용호\* · 이상훈<sup>¶</sup> §

방사선 치료에서 각 방사선치료 관련 장비의 주기적인 정도관리는 매우 중요하나, 방사선 발생장치에 비하여 방사선치료계획시스템(RTPS)에 대한 정도관리는 아직 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 방사선치료계획시스템의 정도관리를 위해서 주기적인 정도관리 항목을 제시하고, 수행함으로써 국내에서 사용하고 있는 치료계획시스템들의 성능을 비교, 평가해보고자 한다. 정도관리 항목은 입·출력 장치와 같은 비 선량학적 측면과 선량계산 결과에 관련된 선량학적 측면으로 크게 분류하였고, 수행 시간, 예러 발생률, 중요도에 따라서 주간, 월간, 연간, 비정기적으로 분류하였다. 불균질 상태를 모사한 물 등가 고체팬텀을 컴퓨터단층 촬영하여 영상을 얻었으며, RTPS에 입력하여 정도관리를 수행하였다. 입·출력 장치는 장비의 오작동 여부를 점검하고 입·출력 후 실제 영상과의 크기 차이를 비교하였고, 선량계산 항목은 정방형 조사면, 부정형 조사면, 썩기 조사면, 불균질 물질 보정, 사방향 조사 등에 대해 수행하였다. 에너지는 6 MV, 10 MV를 이용하여 이온검출기를 통해 기준점에서의 실제 측정값을 얻었고, 계산된 값과 실제 측정값을 비교하여 RTPS의 정확도를 평가하였다. 기하학적 정확도와 선량의 정확도를 평가한 결과 선진 각국 및 각 학회에서 권고하고 있는 허용 범위 내에서 대부분 일치하였다. 따라서 방사선치료의 성적을 향상시키기 위해서 주기적인 정도관리가 요구되며, 본 연구 결과를 토대로 RTPS의 정확성을 평가하기 위하여 국내 실정에 적합한 주기적인 정도관리 프로그램을 제시할 수 있을 것으로 생각된다.

**중심단어:** 방사선치료계획시스템(RTPS), 정도관리(QA)

### 서 론

방사선 치료계획이란 환자가 가진 정보, 임상적인 소견, 환자의 체 윤곽, 병소 주위의 주요 장기를 포함한 내부 기관의 위치와 크기 및 전자밀도 등에서 가장 적합한 선량의 결정, 공간적(물리적) 및 시간적인(생물학적) 선량 분포가 되는 조사 방법을 얻는 것을 말한다. 얻어진 치료계획을 수행하기 위해서는 계획에 따라 조사하기 위해 환자의 위치 결정이 필요하다. 이들을 고도로 정밀하게 수행하기 위해서는 방사선 치료계획의 정도관리 프로그램을 작성하고, 실행하지 않으면 안 된다. 현재 많은 기관에서 2차원 치료 계획 시스템을 새로운 3차원 시스템으로 바꾸고 있는 상태

이고, 3차원 시스템은 더 많은 함수를 가지고 있는 까닭에 인수검사, 취역 검사, 정도관리를 위한 과정의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 방사선치료기술의 발달은 방사선치료계획 능력과 정확성에 관련 있으며 컴퓨터의 발달로 다변, 복잡해지고 있다. 치료계획이 복잡해짐에 따라 치료계획의 결과 또한 예측하기가 어려워져 치료계획 장치의 정확도를 판단하기가 어려워지며, 외국의 제품을 수입해서 쓰는 우리의 형편상 정도관리를 수행하기도 쉽지 않고, 정도관리의 절차도 명확히 확립되지 않은 실정이다. 외국의 경우 캐나다에서 van Dyk J 등<sup>1)</sup>은 허용 범위, 초기와 주기적인 시스템 검사에 관한 지표를 제시하였고, 미국의 AAPM Task Group 23<sup>2)</sup>에서 방사선치료계획 시스템의 정도관리를 위한 검사항목이 발표되었다. 일반적인 이러한 검사는 빔 데이터의 입력과 선량계산 알고리즘에 국한되었고, 조직 밀도와 체표면의 기하학적인 크기의 정확도를 결정하기 위한 비 선량학적인 검사는 논의되지 않았다. 여기서 권고한 검사항목을 이용하여 여러 기관의 방사선치료계획 시스템에 관한 정도관리 결과가 보고된 바 있다.<sup>3,5)</sup> 그 후 방사선치료를 위한 방사선치료계획 시스템의 정도관리를 위한 권고

본 연구는 과학기술부 원자력 중장기사업(M20330010001-03A0724-00111)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.  
이 논문은 2004년 10월 14일 접수하여 2004년 11월 25일 채택되었음.  
책임저자 : 이상훈, (411-815) 경기도 고양시 일산구 백석동 1232 국민건강보험공단 일산병원 방사선종양학과  
Tel: 31)900-0475, Fax: 031)900-0474  
E-mail: 5yat2@nhimc.or.kr

사항이 스위스의 SSRPM<sup>6)</sup>에서 보고되었다. 이 보고서는 계산된 결과와 측정된 결과 사이의 선량의 차이, 등선량곡선의 이동에 관해 언급하였다. 3차원치료계획의 정도관리에 관한 좀더 포괄적인 접근은 AAPM Task Group 53<sup>7)</sup>에서 공식화되었다. 이 보고서에서 치료계획의 검사, 문서화, 비선량학적인 관점뿐만 아니라 정도관리 소프트웨어, 절차, 훈련과 같은 3차원 치료계획시스템의 정도관리에 연관된 많은 논의가 이루어졌다. 네덜란드의 NCS<sup>8)</sup>에서는 TG-53을 바탕으로 3차원 치료계획시스템의 전반적인 정도관리 방법에 관한 보고서를 발표하였다. 본 연구에서는 방사선 치료의 원활하고 정확한 수행을 위해 실용적이고 체계적인 치료계획 시스템의 정도관리 방법과 절차서를 수립하여 다양한 치료계획 시스템간의 비교를 통하여 치료계획 시스템의 정확성을 평가하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 정도관리 절차서 수립

치료계획 시스템의 정도관리를 위해서 주간, 월간, 연간, 비정기적 점검 항목으로 분류하여 작성하였다. 방사선치료 계획시스템의 정도관리 항목 선별과정은 선진각국 및 각 학회 등 국내·외 방사선치료계획시스템의 정도관리 문헌 및 자료를 수집하고, 수집된 정도관리 절차서의 기능 및 목적에 따라 구분하여 비교·분석하였다. 분석된 결과를 기초로 국내 현실에 맞는 항목 및 범위를 선정하여 정도관리 항목을 방사선치료계획시스템의 오류 발생률 및 중요도에 입각해 주기별로 나열하였고, 각각에 대한 사용 장비, 방법, 허용오차 등을 정하였다. 또한 각 항목을 필수, 선택 항목으로 구분하여 정도관리 시 참고하도록 하였다. 외국의 경우 일간 정도관리도 수행하고 있지만 인력과 시간의 부족으로 고려하지 않았고, 정도관리 항목은 치료계획 시 발생할 수 있는 오류를 감안하여 설정하였다. 이를 토대로 국내 실정을 고려한 합리적이고 실용적인 정도관리 절차서 초기 모델을 수립하였다(Table 1).

2. 정도관리 절차서의 수행

치료계획 시스템은 AcQ-plan (Philips), Prowess (SSGI), Plato (Nucletron), Pinnacle (Philips), Helax (Helax)를 사용하였고, 에너지는 6, 10 MV 광자선을 이용하여 측정하였다. 팬텀은 물 등가 고체팬텀을 사용하였고, 사방향 조사의 측정을 위해서 아크릴을 이용하여 삼각기둥모양의 팬텀을 제작하였으며,<sup>9)</sup> 불균질 보정을 위해서 5 cm 코르크를 이용하였다.<sup>10,11)</sup> 시용된 코르크의 밀도는 0.303 g/cm<sup>3</sup>이었다.

입·출력장치는 장비의 오작동 여부를 점검하고, CT 영상을 디지털라이저, 필름스캐너, DICOM을 이용하여 치료계획 컴퓨터에 입력한 후 원본 영상과의 오차를 점검하였고, 프린터, 플로터, 필름현상기를 이용하여 출력한 결과와 실제 영상과의 크기 차이를 비교하였다. 치료계획컴퓨터에 입력된 빔 데이터는 초기에 입력한 값에서의 변화 여부를 확인하였으며, 환자 데이터를 치료기로 정확한 전송 여부 및 백업이 제대로 수행되는지를 확인하였다. 선량계산과 관련된 항목의 측정조건은 Table 2와 같이 각각의 조사면에서 이온검출기를 이용하여 5 cm 깊이에서의 선량을 측정하였고, 불균질 조사면은 팬텀 사이에 5 cm 코르크를 삽입한 후 불균질 물질을 통과한 빔의 선량을 12 cm 깊이에서 측정하였다. 부정형 조사면은 블록을 제작하여 수행하였고, 사방향 조사는 제작한 팬텀을 고체팬텀 위에 추가로 적용하여 사

Table 1. Periodic RTPS process QA checks.

항 목	방 법
주간 점검	입력장치, 출력장치 등 장치들의 오작동 점검
월간 점검	입력장치, 출력장치, RTP에 입력된 데이터, 빔 데이터의 변화여부, 전송 및 백업 등 점검
연간 점검	CT 데이터 입력의 정확도, 선량계산, 맺음변수 등 치료계획의 경우에 따른 선량계산의 정확성 점검
비정기적	선량계산 확인, 소프트웨어 업데이트 시 수행

Table 2. Investigation parameters of dosimetric aspects.

검사 항목	조사면 (cm <sup>2</sup> )	SSD (cm)	측정 깊이 (cm)	비 고
정방형 조사면	10×10	100	5	-
직사각형 조사면	5×20	100	5	-
부정형 조사면	20×20	100	5	Block
MLC 조사면	20×20	100	5	MLC
Wedge	10×10	100	5	wedge 15°, 45°
사방향 조사	10×10	100	5	△-Phantom
축 이탈	20×20	100	5	off axis, 5 cm
SSD 변화	10×10	110	5	SSD 110 cm
불균질 조사면	10×10	100	12	cork 5 cm

Table 3. Results of weekly QA parameters.

검사항목	세부항목	필/선	허용오차	결과					
				AcQ Plan	Prowess	Plato	Pinnacle 1	Pinnacle 2	Helax
입력장치	디지털타이저 상태	선택	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	필름스캐너 상태	선택	작동여부	-	-	-	OK	OK	-
출력장치	DICOM에 의한 영상전송	선택	작동여부	OK	-	-	OK	OK	-
	프린터 상태	필수	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	플로터 상태	필수	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	모니터 상태	필수	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	필름현상기 상태	선택	작동여부	OK	-	-	-	-	-

Table 4. Results of monthly QA parameters.

검사항목	세부항목	필/선	허용오차	결과					
				AcQ Plan	Prowess	Plato	Pinnacle 1	Pinnacle 2	Helax
주간 점검	주간 점검 확인	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
입력장치의 기하학적 정확도	디지털타이저의 정확도	선택	1 mm	0.6	0.4	0.5	0.4	0.7	0.6
	필름스캐너의 정확도	선택	1 mm	-	-	-	0.3	0.4	-
출력장치의 기하학적 정확도	DICOM에 영상전송 정확도	선택	확인	OK	-	-	OK	OK	-
	프린터의 정확도	필수	1 mm	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.4
	플로터의 정확도	필수	1 mm	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3	0.4
정확도	현상된 필름의 정확도	선택	1 mm	0.5	-	-	-	-	-
	PDD 또는 TMR	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
데이터의 검증	빔 프로파일	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	출력 인자	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	췌기 인자	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Tray 인자	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
데이터 전송 및 백업	R & V 확인	선택	확인	OK	-	-	OK	OK	-
	DRR 영상의 검증	선택	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	환자 데이터의 백업	선택	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK

방향 입사 효과를 재현하였으며, 축 이탈은 중심축에서 5 cm 이동한 위치에서 측정하였다. 각각의 조건에서 치료계 획시스템에서 계획된 선량과 동일한 조건에서 선형가속기를 이용하여 측정된 값을 비교하여 허용오차 내에 들어오 는지를 확인하였다.

**결 과**

방사선치료계획용 시스템에 대한 미국, 스위스, 네덜란 드 등의 정도관리 절차서는 각 주기별 정도관리 항목과 허 용오차 간에 일부 차이를 보였으나, 공통적으로 엄격한 취 역과 인수검사를 거치고 각 주기별로 정도관리 프로그램을

확립해서 실행 할 것을 권고하고 있다. 국내의 상황은 인 적, 시간적 제약이 많아 외국의 정도관리 절차 항목을 모두 수용하기 어려우므로 국내의 실정에 맞는 항목과 그에 따 른 허용오차, 주기 등을 설정하여 정도관리 절차서의 초기 모델을 개발하였으며, 각 정도관리 항목을 필수 또는 선택 항목으로 분류하여 각 기관의 여건에 따라 정도관리를 수 행하였다.

**1. 주간 점검**

수집된 각국의 프로토콜에서는 에러로그, 로그변화 등의 항목을 일일점검의 항목으로 설정하였으나, 국내의 상황 에서는 방사선치료계획용 시스템을 제외한 대부분의 장치에

Table 5. Difference of doses measured and compared with calculations.

검사 항목	허용오차	오차(%)										
		AcQ Plan		Prowess		Plato		Pinnacle 1		Pinnacle 2		Helax
		6 MV	10 MV	6 MV	10 MV	6 MV	10 MV	6 MV	10 MV	6 MV	10 MV	6 MV
정방향 조사면	1%	-0.9	-0.1	+2.9	+1.6	-0.8	-1.2	+0.4	+0.3	-0.7	-0.8	0.0
직사각형 조사면	2%	-0.1	-0.4	+2.5	+2.1	-2.3	-1.7	-0.5	-0.3	-1.0	-1.1	+0.7
부정형 조사면	3%	0.0	+2.6	-	-	-0.8	+1.4	+1.1	+0.7	+0.2	-0.9	-
MLC 조사면	2%	+0.6	+1.8	+1.9	+0.4	-	-	+0.8	+0.6	+1.6	+1.1	-
Wedge (15°)	3%	-0.4	+0.5	+1.1	+3.0	-1.4	-1.4	-1.5	-0.6	-0.8	-0.9	+0.9
Wedge (45°)	3%	-1.1	-2.5	+2.0	+0.8	-3.4	+2.3	-3.2	-1.3	-0.2	0.0	+1.7
사방향 조사	3%	-2.2	-0.5	+3.4	+2.1	+1.4	+0.4	+0.6	+1.2	+0.5	-0.3	+0.8
축 이탈	3%	+1.2	+2.2	+3.1	+4.5	-2.2	-2.1	-0.7	+0.3	-1.1	-0.5	+1.6
SSD 변화	2%	-	-	+2.7	+1.0	-1.0	-1.0	-0.2	+0.5	-0.3	-0.2	+0.3
불균질 조사면	3%	-5.6	-2.1	-3.0	-3.8	-	-	+1.5	+1.6	+1.1	+0.8	+1.1

Table 6. Variable QA parameters.

검사항목	세부항목	필/선	허용오차
선량계산	MU 점검	선택	3%
소프트웨어	소프트웨어의 변화 점검	필수	확인
업그레이드	소프트웨어 도구 확인	필수	확인
	선량계산 데이터 확인	필수	확인

대해 일일점검을 시행하도록 되어 있어서 현실적으로 인적 및 시간적 제약이 불가피하므로 최소 주기는 주간점검으로 정하였으며, 그 항목으로는 입력장치와 출력장치의 작동여부에 대한 육안적 검사를 시행하도록 하였다(Table 3).

### 2. 월간 점검

월간점검 항목에는 Table 4에 나타난 바와 같이 기본적으로 주간 점검 항목이 필수 항목으로 포함되었으며, 입력장치와 출력장치에 대한 기하학적 정확도를 점검하여 허용오차를 1 mm로 정하였다. 특히, 월간 점검의 주요항목은 빔의 선질 특성에 관련된 항목과 상대적 측정 계수에 대한 항목을 필수 항목으로 설정하였으며, 각각에 대하여 방사선치료계획 시스템에 입력된 데이터와 인수 시 실제 측정을 통해 입력했던 값을 비교하도록 하였다. 정도관리를 수행한 모든 치료계획 시스템이 허용오차를 벗어나지 않았다.

### 3. 연간 점검

연간점검 항목은 치료계획 시스템에서 선량계산과 관련된 항목에 대해서 정도관리를 수행하였다. 각 항목은 치료

계획 시에 사용될 수 있는 조건에 대한 경우를 포함하도록 하였다. 치료계획 시스템별로 각각의 항목을 수행한 결과 오차가 허용범위를 초과하는 경우도 나타났다. 특히 췌기를 사용한 경우와 불균질 조사면의 오차가 크게 발생하는 것을 알 수 있었다(Table 5).

### 4. 비정기적 점검

비정기적 항목에는 선량계산 확인, 소프트웨어 업그레이드에 대한 내용을 설정하였으며, 항목별로 선량계산 확인의 MU 점검은 실제로 몇몇 기관에서는 방사선치료계획 시스템에서 계산된 MU값을 치료 전 매뉴얼 계산을 통해 점검하도록 하고 있으나, 이 또한 각 기관의 상황에 맞게 탄력적으로 검사하도록 설정하였다. 또한 소프트웨어 업그레이드 항목은 필요시에만 적용할 수 있는 항목이며, 이와 관련된 해당 사항이 있을 경우에는 반드시 점검해야 하는 필수 항목으로 정하였다(Table 6).

## 고찰 및 결론

방사선 치료의 정확도를 향상시키기 위해서 방사선치료 계획시스템의 정도관리 절차서를 만들었고, 그 유용성을 파악하기 위해 국내에서 사용하고 있는 방사선치료계획시스템들의 정도관리를 수행하였다. 장비 자체의 기하학적 정확도와 선량의 정확도를 평가한 결과 선진 각국 및 각 학회에서 권고하고 있는 허용 범위 내에서 대부분 일치하였으나 몇몇 경우에는 허용 범위를 벗어난 경우도 있었다. 따라서 방사선치료의 성적을 향상시키기 위해서는 주기적

인 정도관리가 요구된다. 본 연구의 결과에는 기계적 오차와 측정 시 발생한 개인오차가 포함되어 있으므로, 이것을 해결하기 위해 치료계획시스템에 동일한 빔데이터를 입력하여 선량계산과 관련된 항목의 개인오차를 줄이는 추가 연구를 시행하고자 한다. 국내의 상황은 인적, 시간적 제약이 많아 선진각국의 정도관리 절차 항목을 모두 수용하기는 어려운 현실이지만, 국내의 실정에 맞는 항목과 그에 따른 허용오차, 주기 등을 설정하여 방사선치료계획 시스템에 대한 규칙적인 성능 평가가 이루어지면 보다 양질의 진료 서비스를 환자에게 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. van Dyk J, Barnett RB, Cygler JE, Shragge PC: Commissioning and quality assurance of treatment planning computers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 26:261-273 (1993)
2. AAPM Report 55: Radiation treatment planning dosimetry verification. Radiation Therapy Committee Task Group #23 (1995)
3. Alam R, Ibbott GS, Pourang R, Nath R: Application of AAPM radiation therapy committee task group 23 test package for comparison of two treatment planning systems for photon external beam radiotherapy. *Med Phys* 24(12):2043-2054 (1997)
4. Declich F, Fumasoni K, Mangili P, Cattaneo GM, Iori M: Dosimetric evaluation of a commercial 3D treatment planning system using Report 55 by AAPM Task Group 23. *Radiother Oncol* 52:69-77 (1999)
5. Ramsey CR, Cordrey IL, Spencer KM, Oliver AL: Dosimetric verification of two commercially available three dimensional treatment planning systems using the TG 23 test package. *Med Phys* 26(7):1188-1195 (1999)
6. SSRPM Recommendations 7: Quality control of treatment planning systems for teletherapy. Swiss Society of Radiobiology and Medical Physics (1997)
7. AAPM Report 62: Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. Radiation Therapy Committee Task Group #53 (1998)
8. NCS Report: Quality assurance of 3D treatment planning systems. Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (2000)
9. Craig T, Brochu B, van Dyk J: A quality assurance phantom for three-dimensional radiation treatment planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 44(4):955-966 (1999)
10. Kappas C, Rosenwald JC: Quality control of inhomogeneity correction algorithms used in treatment planning systems. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 32(3):847-858 (1995)
11. Essers M, Lanson JH, Leunens G, Schnabel T, Mijnheer BJ: The accuracy of CT-based inhomogeneity corrections and in vivo dosimetry for the treatment of lung cancer. *Radiother Oncol* 37:199-208 (1995)

## Development and Evaluation of Quality Assurance Worksheet for the Radiation Treatment Planning System

Kwang Hwan Cho\*<sup>§</sup>, Jinho Choi<sup>†</sup>, Dong Oh Shin<sup>‡</sup>, Soo Il Kwon<sup>§</sup>,  
Doo Ho Choi\*, Yong Ho Kim\*, and Sang Hoon Lee<sup>·§</sup>

\*Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Soonchunhyang University,

<sup>†</sup>Department of Radiation Oncology, Gachon Medical School, Gil Medical Center,

<sup>‡</sup>Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Kyunghee University,

<sup>§</sup>Department of Medical Physics, Kyonggi University,  
Department of Radiation Oncology, NHIC Ilsan Hospital

The periodic Quality Assurance (QA) of each radiation treatment related equipments is important one, but quality assurance of the radiation treatment planning system (RTPS) is still not sufficient rather than other related equipments in clinics. Therefore, this study will present and test the periodic QA program to compare, evaluation the efficiency of the treatment planning systems. This QA program is divided to terms for the input, output devices and dosimetric data and categorized to the weekly, monthly, yearly and non-periodically with respect to the job time, frequency of error, priority of importance. CT images of the water equivalent solid phantom with a heterogeneity condition are input into the RTPS to proceed the test. The actual measurement data are obtained by using the ion chamber for the 6 MV, 10 MV photon beam, then compared a calculation data with a measurement data to evaluate the accuracy of the RTPS. Most of results for the accuracy of geometry and beam data are agreed within the error criteria which is recommended from the various advanced country and related societies. This result can be applied to the periodic QA program to improve the treatment outcome as a proper model in Korea and used to evaluate the accuracy of the RTPS.

---

**Key Words:** Radiation Treatment Planning System (RTPS), Quality Assurance (QA)