

## 세기조절방사선치료(IMRT) 환자의 QA

울산대학교 의과대학 서울중앙병원 방사선종양학과

윤상민 · 이병용 · 최은경 · 김종훈 · 안승도 · 이상욱

**목적 :** 세기조절 방사선치료(IMRT) 환자에 적합한 Quality Assurance (QA) 항목을 찾아내고 평가 항목의 유용성 및 타당성을 검토하였다.

**대상 및 방법 :** 3단계, 16항목으로 구성된 IMRT 환자 QA program을 만들어 9환자 12예의 다양한 IMRT 환자에 대해 적용하고 그 방법의 타당성을 검토하였다. 3단계 QA 항목은 전산화치료계획시스템(RTP) QA, 치료 정보의 전달 QA, 치료 전달 과정 QA 등으로 구성되었다. RTP QA는 다시 organ constraint의 검토, 그리고 점선량 및 선량 분포의 타당성 평가 등으로 세분화하였다. 치료 정보의 전달 QA에서는 leaf sequence pattern 작성, 치료 전달용 MLC file 생성 프로그램에서 작성된 IMRT field 용 MLC file의 정확성의 평가와 이 file로 만든 치료 조사면의 dry run 결과를 MLC simulation image와 비교하였다. 치료 전달 과정 QA는 환자의 set-up QA와 IMRT field delivery의 확인, Record and Verify 시스템의 확인 등으로 나누어 실시하였다.

**결과 :** 점선량 평가 결과, 총 12예 중 10예에서 측정값과 RTP 계산값이 3% 이내의 일치를 보였고, 3% 이상 및 5% 이상이 각각 1예씩 발견되었다. RTP에서 설계한 MLC leaf 위치와 Dry run에서 나타난 실제 MLC leaf 위치를 비교하였을 때, 2 mm 이상의 차이를 보이는 예는 없었다. 필름에 의한 선량 분포는 치료 계획 선량 분포와 정성적으로 일치함을 알 수 있었으나, 필름의 특성상 정량적인 비교를 할 수는 없었다. Leaf sequence에서 MLC file을 생성하는 프로그램은 오차 없이 구동하였다.

**결론 :** 본원에서 실시한 IMRT 환자 QA program이 유용하고 필요한 항목임을 보일 수 있었다. 특히 처음 IMRT를 시작할 때는 제시된 모든 항목에 대한 QA를 실시하여야 하나 계속 이 program을 유지하기에는 절차가 복잡하고 긴 시간이 소요되는 과정이라는 문제가 있다. 지속적으로 IMRT를 실시하는 기관을 위해 실용적이며 필수적인 QA 항목을 제시할 수 있었다.

**핵심용어 :** 세기조절방사선치료(IMRT), QA (Quality Assurance)

### 서 론

세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT)는 기존의 방사선 치료에 비해 방사선량을 치료하려는 병변에 집중시키면서 정상 장기는 더욱 보호할 수 있는 방사선 치료법이다.<sup>1~7)</sup> IMRT를 위한 기술적인 제한점을 극복해 나가면서 최근 들어 부분적이기는 하지만 성공적인 임상 적용으로 IMRT 치료법에 대한 관심이 고조되고 있다.<sup>8~13)</sup> IMRT의 원리는 치료 조사면의 선량 분포가 일정하게 유지되는 전통적인 치료 방식과는 달리, 조사면의 선량 세기는 불균일하지만 병변에 이상적인 모양으로 선량이 분포하도록 설계하는 것이다. 이런 방사선장을 구현하기 위하여 작은 단

위의 선소(beamlet)를 정의하여 각각의 선소에 대한 세기를 조절한다. 선소의 크기는 다엽 콜리메이터(Multi-leaf Collimator; MLC)와 치료 계획 등에 의해 좌우되며 통상적으로 임상에서는 1 cm×1 cm 크기 혹은 0.5 cm×0.5 cm 크기를 사용한다. 조사면 선량 분포를 최적화하기 위하여 치료 부위와 정상 조직을 설정하고, 각 장기별로 처방 선량과 최대 허용 선량을 지정하여 표적 부위에는 최대한의 선량을 균일하게 집중하고, 정상 조직은 선량 허용 범위 내에서 최소한의 선량이 조사되도록 최적화 치료 계획을 역계산(inverse calculation) 방식으로 수행한다. 이런 목표를 수행하기 위하여 고안된 IMRT 방법으로는 치료 도중 gantry의 움직임 여부에 따라 분류할 때 gantry가 움직이는 Arc 방식의 IMRT로서 Tomotherapy,<sup>14)</sup> IMAT (Intensity Modulated Arc Therapy)<sup>15)</sup> 등이 있으며, gantry가 움직이지 않는 static gantry IMRT 방식이 있다. MLC의 전달 방법에 따라서는 Sliding Window 방식,<sup>16)</sup> Step and Shoot 방식<sup>17)</sup> Areal Step and Shoot 방식<sup>18)</sup> 등이 있다. 어떤 방식의 IMRT인가에 관계없이 각 치료 segment가

이 논문은 2001년 12월 1일 접수하여 2002년 2월 8일 채택되었음.

책임저자: 이병용, 울산대 서울중앙병원 방사선종양학과  
Tel: 02)3010-4433, Fax: 02)486-7258  
E-mail: yiby@amc.seoul.kr

통상적인 치료 방법보다 최소한 10배에서 20배 이상으로 증가되므로 이로 인해 생길 수 있는 오류의 가능성도 그만큼 커질 수 있다. 모니터단위(monitor unit)가 잘 설계된 IMRT 치료 계획의 경우에도 통상의 치료보다 치료시간이 3배 내외로 증가하므로 선량과 관련하여서도 철저한 확인 과정이 필요하다.<sup>19)</sup> IMRT는 이와 같은 오류의 발생 가능성이 높으므로, 선량 분포의 최적화 과정이나 이를 이용한 치료 과정에서 기존의 치료 방법보다 훨씬 높은 정밀도와 정확도를 요구한다. 이는 IMRT 특성상, 선량의 분포가 사용자가 원하는 대로 설계되기 때문에, 종래의 방법대로 여러 가지 오차 요인을 감안하여 표적에 충분한 여유를 부여하는 것만으로는 문제를 해결할 수 없기 때문이다.

이런 필요성에도 불구하고 IMRT QA에 대한 연구는 세계적으로 MLC와 치료기, 치료 계획 장치의 확인 과정에 대한 연구에만 집중되고 있다.<sup>20-24)</sup> IMRT가 임상 적용 단계에 와 있다는 사실을 감안할 때 장비에 대한 QA 뿐 아니라 실제 환자를 치료하기 위한 QA 과정의 정립이 필요하며 이에 대한 타당성 및 실용성 검증이 시급한 과제라 할 수 있다.

이에 저자들은 IMRT를 받는 환자를 대상으로 하는 QA의 내용 및 방법을 개발하고 이를 임상에 적용한 후 타당성 실용성이 검증된 IMRT 환자 QA 방법을 제시하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. IMRT 환자 QA 항목

IMRT 치료 환자의 QA 항목을 치료 QA에 관한 미국의학 물리학회(AAPM)의 권고<sup>25)</sup>와 IMRT의 특성을 감안하여 총 3 단계 16항목으로 QA program을 만들어 환자에 대해 적용하였고, 적용 결과를 바탕으로 이 항목들의 타당성 및 실용성을 검토하였다. 치료기의 인수 검사 및 치료계획 장치의 성능 검사는 치료 개시 이전에 이루어지는 것이며, 개개의 환자에 대해 반복하는 것이 아니므로 이 연구에서는 제외하였다. 이 항목들은 치료의 전과정을 따라가며 각 과정마다 점검할 사항을 기술하므로, QA와 관계없이 치료 과정 check list로 활용하였다. 3단계 QA 항목은 전산화치료계획시스템(Radiation Treatment Planning System; RTP) QA, 치료 정보의 전달 QA, 그리고 치료 전달 과정 QA 등으로 구성되어 있으며 전체적인 모식도와 IMRT 환자 QA 항목은 Fig. 1과 Table 1에 있다.

### 2. RTP QA

치료계획과 관계된 QA로 첫번째 과정은 전산화 단층촬영

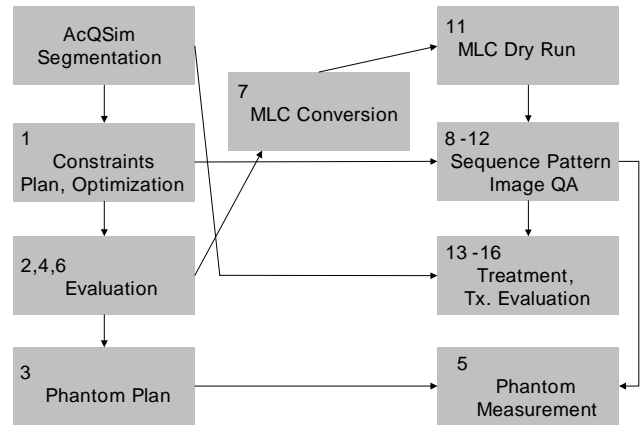


Fig. 1. Schematic process of AMC IMRT patient QA. The numbers shown in figure correspond to the items in Table 1.

을 이용한 모의 치료기(AcQSim, Marconi, USA)를 통하여 CT 영상을 얻은 뒤, 각각의 단면에 정상 장기 및 치료계획용적을 표시한 후 이것을 역방향 치료계획과 IMRT 치료 계획이 가능한 Helax 치료 계획 시스템(MDS\_Nordion, Canada)으로 전환한 후 시작한다. 치료계획 전에 표적 및 정상 조직 설정의 타당성을 검토하고 치료 계획으로 들어간다. 치료계획 제약조건(constraint) 설정과 치료계획의 결과의 타당성과 합리성을 확인하고 단면 영상(axial image)에서의 선량분포 및 선량체적히스토그램(dose-volume histogram; DVH) 등을 얻는다. 이러한 모든 치료계획의 결과를 바탕으로 최종적으로 치료 계획 결과에 대한 재검토를 실시하여 치료계획 선택 여부를 결정하고 동시에 환자 치료와 동일한 조건아래 팬텀 치료계획을 실시하여 치료계획 확인 측정에 대한 준비도 시행한다. 이러한 전산화치료계획시스템 QA는 IMRT에서만 볼 수 있는 특이한 과정이라기보다는 치료계획 제약조건과 팬텀 치료계획을 제외하면, 일반적인 기존의 3차원 입체조형치료계획 QA와 큰 차이가 없다.

### 3. 치료 정보의 전달 QA

IMRT 치료계획 정보와 통상의 치료계획 정보와의 차이점은 IMRT에서는 각 빔마다 선소의 세기(intensity) 정보, 즉 fluence map을 갖고 있으며, 이 세기 정보를 실제의 치료로 구현할 수 있는 정보, 즉 leaf sequence 정보를 갖고 있다는 점이다. 이런 정보들이 최초의 치료 계획으로부터 정보의 왜곡이 전혀 없이 환자에게 전달되어야 한다는 것이 치료정보 전달 QA의 핵심이다. 이 목표를 달성하기 위해 다음의 단계를 거치도록 하였다. 치료계획에서 얻은 이상적인 fluence map과 이의 구현을 위해 계산된 leaf sequence 정보를 합쳐서 만든 intensity map(또는 beam pattern)을 제작하는 과정이 있

Table 1. The Intensity Modulated Radiation Therapy Patients Quality Assurance Program in Asan Medical Center

	No.	Items	Criteria
RTP* QA	1	Constraint and plan review	
	2	Beam pattern, Isodose, DVH <sup>†</sup> , Documents generation	Done/Undone
	3	Phantom plan	Done/Undone
	4	Chart	
	5	Point dose measurement	>3%, >5%
	6	Comparison of isodoses of the plan and the film	Pass/Fail
Treatment information delivery QA	7	MLC <sup>‡</sup> control file	Done/Undone
	8	Simulate image, sequence image	Done/Undone
	9	Comparison of simulate image and beam pattern	SP, CR <sup>§</sup>
	10	Comparison of sequence image and RTP	SP, CR
	11	Dry run and comparison of simulate image	SP, CR, <2 mm
	12	Simulation (or DRR <sup>§</sup> ) image and isocenter information	Done/Undone
Treatment QA	13	Localization image verification	<2 mm
	14	Comparison of verification image and simulate image	SP, CR
	15	Varis (Record & Verify system) data input	Done/Undone
	16	Verification of leaf sequence	Observation

\*Radiation Treatment Planning, <sup>†</sup>Dose-volume Histogram, <sup>‡</sup>Multi-leaf Collimator, <sup>§</sup>Digitally Reconstructed Radiograph, <sup>¶</sup>Same Pattern, Correct Registration

다. Intensity map이란 서론에서 언급된 선소에 나타난 각각의 조사빔의 세기 분포도이다. 이러한 intensity map은 Helax 치료 계획 장치에서는 Fig. 2와 같이 숫자로 표현되어 그 세기의 강도를 표시한다. 즉, intensity map은 한 방향에서의 최종적인 조사 방사선량의 분포를 나타내는 것으로 치료계획과정에서 여러 문(port)의 방사선을 사용하였다면 전체 segment의 숫자는 더욱 증가하게 된다. Intensity map을 실제 치료에 적용하기 위해서 MLC를 구동하여 각각 leaf의 위치와 시간 등 leaf 운동 프로그램을 제어할 수 있는 leaf sequence 정보가 필요하다. Helax system에서 생성된 leaf sequence는 본원이 보유한 120 leaf MLC (Millennium MLC, Varian, USA) 제어 컴퓨터에서 직접 읽지 못하므로 Helax의 leaf sequence를 Varian MLC 제어 file로 변환하는 프로그램(Helax-Varian File Converter)을 제작하였다. Helax는 step and shoot 방식의 IMRT만 지원하므로 Helax-Varian File Converter 역시 step and shoot 방식으로 MLC가 구동되도록 알고리즘을 만들어 사용하였다. RTP에서 생성한 MLC leaf sequence 정보와 converter에서 변환한 파일이 동일한 것인지를 검토하는 과정도 필요하다. 이 과정을 통해 얻어진 MLC file이 leaf sequence에 따라 움직이게 되고 그 결과 각각의 선소의 조사량의 차이가 density로 표현할 수 있으며 소프트웨어적으로 구현하는 ‘simulate image’를 만들 수 있다. Varian MLC에서는 Shaper (Varian, USA) 소프트웨어가 제공되며 이 소프트웨어에 simulate 기능이 포함되어 있으므로 본원에서는 이 기능을 사용하였다. Fig. 3은 이 기능을 사용하여 제작된 영상이다. Simulate

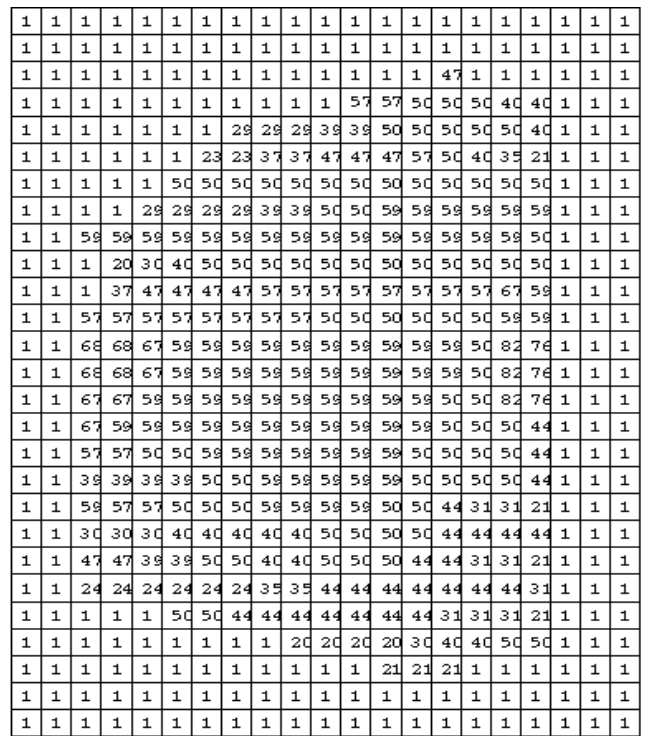


Fig. 2. Intensity map (beam pattern) generated from the Helax RTP system. Higher number indicates the higher dose or longer duration time.

image는 치료계획 과정에서 얻어진 intensity map을 예상되는 선량 분포 형태로 바꾼 것이므로 RTP에서 만들어 낸 intensity map과의 선량분포 형태가 같아야 된다. 따라서 얻어진 simulate image와 RTP에서 만든 intensity map을 정성적으로

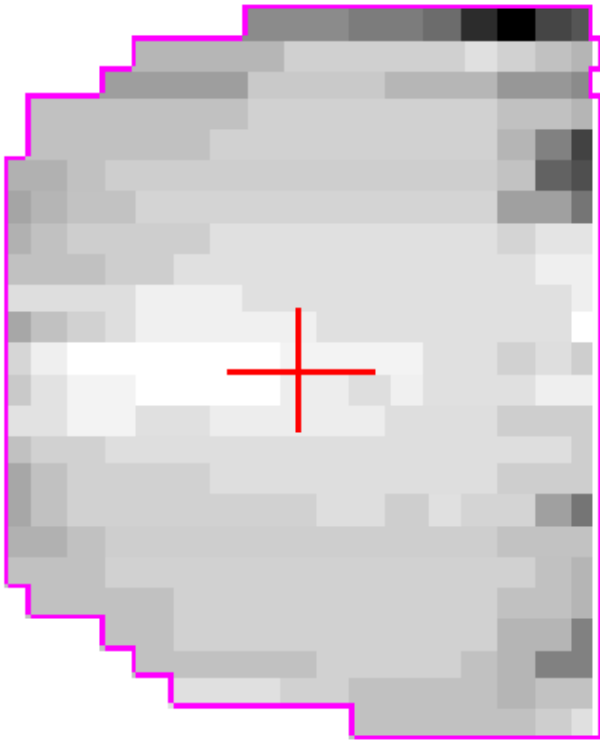


Fig. 3. Simulate image of the intensity map from the Varian Shaper. This image implies the MLC leaf sequence information.

비교 분석하여 치료 정보의 전달 과정에서 오차가 발생하였는지의 여부를 확인하였다. 계획된 intensity map과 simulate image가 차이를 보이지 않는다면, 다음 단계로 MLC file을 이용하여 실제 치료기계에서의 dry run 결과를 film, 혹은 BIS 710 (Wellhoefer, Germany) 영상 장치를 통해서 얻고, 이것을 다시 simulate image와 육안으로 비교하여서 선소 세기 분포 패턴의 차이가 있는지를 정성적으로 확인하는 과정을 거쳤다. 최종적인 RTP 결과를 확인하기 위하여 치료와 동일한 MLC leaf sequence와 monitor unit 조건으로 물 팬텀에 대한 선량 계산을 실시하고, 물 팬텀을 사용하여 치료 조건과 동일한 조건으로 측정을 시행하였다. 물 팬텀에서 isocenter의 선량을 측정 비교하여 측정량과 계산값의 차이가 3% 이내이면 치료를 진행하고, 3~5%인 경우에는 재측정, 혹은 원인을 찾아서 필요에 따라 보정하도록 하였고, 5% 이상의 차이를 보이면 재측정 및 원인 보정을 하도록 하였다.

#### 4. 치료 전달 과정 QA

치료계획을 환자 치료에 적용하는 과정이다. IMRT는 앞에서 확인한 것처럼, 선소에 따라 선량 분포 차이가 있으므로 무엇보다도 정확한 환자의 set-up이 중요하다. 이를 위해 필요

에 따라 고정용 실린더를 사용하거나, 표지자를 이용하여 매일 치료 위치의 정확성 여부를 확인하는 방법을 사용하였다. 또, localization image를 매일 확인하여 그 오차가 2 mm 이상 일 경우에는 치료 전에 다시 set-up을 시행하여 오차를 최소화하였다.

환자의 이름, 차트번호, 조사면의 넓이, gantry 각도, 콜리메이터 정보, MLC pattern, 조사량(MU값) 등의 환자 치료에 이용되는 각종 정보들을 Record and Verify system (Varis 6.0, Varian, USA)에 입력하여 입력된 정보대로 치료를 진행하였다.

치료 시 MLC leaf sequence 변화에 따르는 선량 분포를 최종 확인하기 위해 verification film과 simulate image 혹은 dry run image와의 비교를 첫번째 치료 시 시행하였다. 처음 치료에서 MLC file sequence와 실제 전달되는 MLC 움직임을 육안으로 치료계획자가 확인하도록 하였으며, 그 이후부터는 치료 방사선사가 매번 치료마다 확인하도록 하여 치료 시에 있을 수 있는 문제에 대비하도록 하였다.

#### 5. QA program의 임상 적용

2001년 2월부터 2001년 7월까지 IMRT를 시행 받은 총 9명의 환자를 대상으로 본 연구를 시행하였다. 한 환자에서 두번 이상 치료계획을 시행한 경우가 있었으므로 실제로 분석에 적용된 치료계획의 수는 12이었다. 각각을 치료 부위별로 나누어 보았을 때, 두경부 종양이 전체 치료 계획 중 6예를 차지하였고, 자궁경부종양과 전립선 종양 등 골반 내에 분포하는 종양이 5예, 식도 종양이 1예였다. 각 환자별 치료 계획의 특성을 Table 2에 제시하였다.

### 결 과

#### 1. RTP QA

치료계획 QA에는 점선량 측정 항목을 제외하고는 의미 있는 이상을 발견할 수는 없었다. 치료계획은 의료진과 치료계획자간의 논의를 거쳐 진행되었고, 그 결과로 만들어진 dry run 제작까지의 과정에서 보고할만한 문제는 발생하지 않았다. Fig. 4는 팬텀 치료계획의 선량분포와 동일한 조건에서 시행한 film dosimetry의 결과를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 선량 분포 그림이 동일한 추세를 나타내고 있음을 알 수 있다. 치료계획 상에서 나타난 선량 분포와 팬텀에서 측정한 선량 분포의 차이가 3% 이내 수준이었으나 나타나 보정 없이 치료가 가능했던 경우가 10예였었고, 3% 이상을 보이는 경우가 2예이었다(Fig. 5). 그 중 한 예는 4.4%

Table 2. Patients Characteristics

Patient number	Case number	Sex	Age	Primary site	No. of ports	Total dose/ Fraction size (cGy)	No. of segment
I	I	F	49	Nasopharynx	5	3000/200	68
II	II	M	59	Prostate	5	7000/200	52
III	III	M	74	Submandibular gland	5	5000/200	69
IV	IV	M	60	Upper esophagus	6	2600/13	73
V	V	F	51	Uterine cervix	8	1500/300	69
	VI	F	51	Uterine cervix	7	1500/300	99
	VII	M	73	Nasopharynx	7	5000/200	56
VI	VIII	M	73	Nasopharynx	9	1000/200	75
	IX	M	73	Nasopharynx	5	1000/200	38
	X	M	66	Prostate	7	5200/200	75
VIII	XI	F	67	Tongue	7	5000/200	107
IX	XII	M	59	Nasal cavity	4	1600/200	18



Fig. 4. Isodose comparison of the phantom plan and the film dosimetry. (A) Phantom isodose distribution generated by RTP, (B) Result of the film dosimetry, (C) Film image for phantom plan.

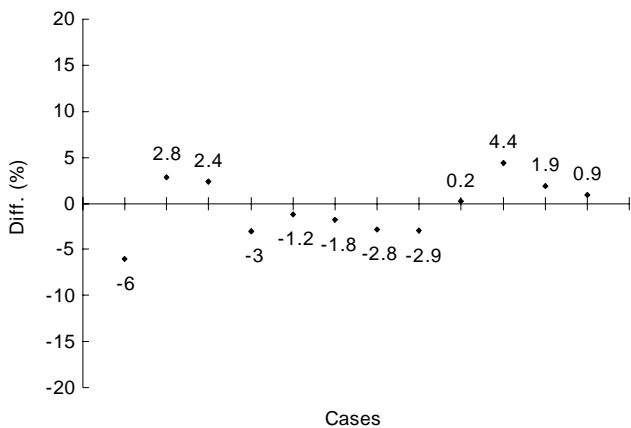


Fig. 5. Point dose differences between RTP plan and measurement. Percentage differences are defined as the percent of the difference between the plan and the measurement divided by the measurement.

의 차이를 보였고, 또 다른 한 예에서는 -6%의 차이를 보여 두 경우 모두 반복 측정을 시행하였고 차이를 보이는 2예를

QA program 지침에 따라 재검토하였다. 치료계획과 다른 모든 전달 과정에서의 문제는 찾을 수 없었다. 그러나 두 경우 모두 다른 예와는 달리 측정점인 isocenter의 주변 선량 분포가 급격히 변화하는 것을 알 수 있었다. 두 경우에 대해서 선량분포가 완만한 지점에 대한 점선량을 재계산하고 그 지점에 대한 측정을 실시하여 허용값인 3% 이내를 얻을 수 있었다. 따라서 isocenter 측정점에서 급격한 선량 변화가 있으므로 측정상의 오차가 생길 수 있는 가능성이 큰 것으로 판단하여 보정 없이 치료를 진행하였다.

## 2. 치료 정보의 전달 QA

Fig. 6은 dry run film 영상을 나타내고 있다. RTP에서 설계한 MLC leaf 위치와 Dry run에서 나타난 실제 MLC leaf 위치를 비교하였을 때, 2 mm 이상의 차이를 보이는 예는 없었다.

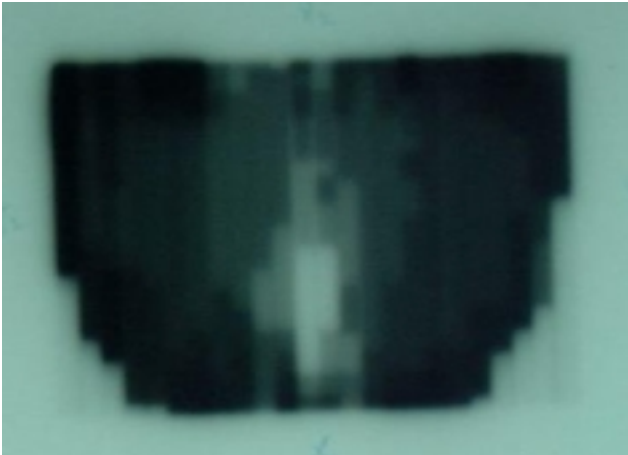


Fig. 6. Dry run image of the IMRT field by dynamic MLC.

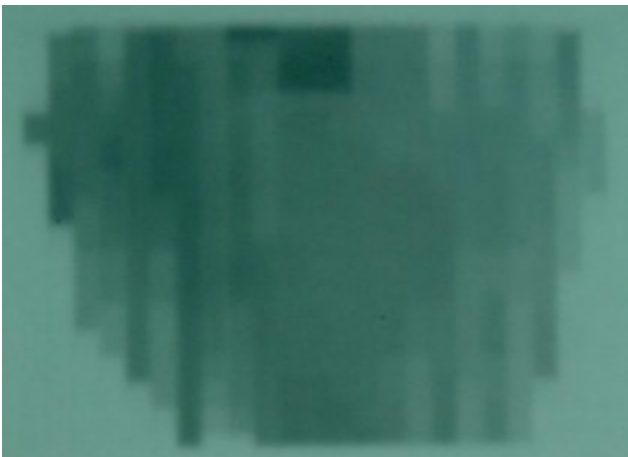


Fig. 7. The first treatment verification film of the IMRT field.

### 3. 치료 전달 과정 QA

Fig. 7은 IMRT 치료면의 치료확인영상(verification film image)이다. 통상의 치료확인영상과 달리 intensity map 정보를 함께 보여주고 있다. Set-up 및 MLC leaf sequence에서는 이상을 발견할 수 없었다. 1예에서 leaf sequence가 치료 계획과 차이가 나는 것을 발견하여 즉시 치료를 중단하였고, 재검토를 시행한 결과 환자 정보의 입력과정에서 오차가 생긴 것을 발견할 수 있었다. 이를 재입력하고 다시 치료를 시행하였고 이후에는 특별한 문제가 발생하지 않았다.

#### 고찰 및 결론

QA program을 항목별로 볼 때 RTP QA, 치료 정보의 전달 QA, 치료 전달 과정 QA 등 3개의 큰 영역으로 구분할 수

Table 3. The Time Required for the Selected Quality Assurance Items and Number of Error Incidences

Items	Time required (min)	No. of errors detected <sup>†</sup>
Phantom plan	30	
Point dose measurement	120	2
Comparison of isodoses of the plan and the film	60	
MLC control file	5	
Simulate image, Sequence image	60	
Comparison of simulate image and beam pattern	5	
Comparison of sequence image and RTP	5	
Dry run and comparison of simulate image	60	1
Verification of leaf sequence	N/A*	
Others	30	
Total	435	3

\*Not applicable, <sup>†</sup>See text

있다. RTP에 관한 6개의 QA 항목은 IMRT가 갖는 특징적인 요소, 즉, constraint 검토와 MLC sequence file의 작성, 팬텀 플랜 및 팬텀 플랜 확인 측정 등 통상적인 RTP 과정에서 일반적으로 고려하지 않는 내용을 제외하고는 3차원 입체조형 치료에서 시행하는 과정과 큰 차이가 없다. 치료 정보의 전달 과정에 관한 6개의 QA 항목은 simulation 혹은 DRR (Digitally Reconstructed Radiograph) 영상 작성 항목을 제외하면 일반적인 치료에서는 시행하지 않는 것이다. RTP 결과가 정보의 왜곡 없이 정확하게 치료기로 전달되는 것을 보장하는 이 과정의 필요성은 각각의 항목에서 자명하게 나타나고 있다. 치료 전달 과정에 관한 4개의 QA 항목은 verification 영상을 dry run 영상과 비교하는 과정을 제외하고는 통상의 치료 QA와 동일하다. 이상에서 살펴 본 바와 같이 3단계 16항목의 QA program은 통상의 입체조형치료 QA와 동일한 항목이고, IMRT를 위해 추가된 항목들도 모두 필수적으로 수행되어야 할 것임을 알 수 있다.

본 연구에서 제시한 IMRT 환자 QA program은 치료 절차에 따라 각 과정에서 야기될 수 있는 문제를 미리 발견할 수 있도록 짜여져 있다. 따라서 이 program에서 제시하는 3단계, 16항목의 QA 과정은 타당성이라는 측면에서 볼 때 각 과정의 세부적인 항목까지 포함하였으므로 모두 적절하고, 반드시 필요한 과정임은 이미 논의하였다. 본 연구에서와 같이 부분적으로 상용 프로그램이 아닌 자체 개발 프로그램을 입상에 이용할 때는 더 엄밀한 QA 과정이 필요하다. 아직 IMRT 기술이 완벽하지 않아서 사정에 따라 각 병원에서 일

부 변형을 시도하여야 하는 경우가 있으므로 이에 상응하는 QA에 대한 고려가 더 필요하다. 점차로 DICOM RT 포맷을 RTP 시스템에서 지원하는 방향으로 개발하는 추세이고, 치료용 R&V (Record and Verify) system 역시 DICOM RT를 지원하는 추세이므로 궁극적으로는 치료계획 정보의 전송이 DICOM RT를 이용하게 되리라 예상하지만, 이 역시 엄밀한 QA 과정을 거쳐서 결과를 확인할 필요가 있다. 논술한 바와 같이 모든 항목의 필요성이 인정되지만 그 항목을 계속 적용하여야 할지는 실용성이라는 측면에서 볼 때 고찰할 점이 있다. 이 QA program의 시행을 위해서 치료계획 과정을 제외한 나머지 과정만 하더라도 최소 7시간 이상의 길고 복잡한 과정을 거쳐야 한다는 면에서 실용적이지 못한 과정이라 할 수 있기 때문이다. Table 3은 각 과정별로 주로 소요되는

QA 시간과 9명의 환자 12예에서 발견된 허용 범위를 벗어난 횟수를 보여 주고 있다. 표에서 보이는 처음 leaf sequence의 오류는 본원에서 R&V system을 사용하지 않고 수동으로 입력하여 생긴 오류이며, 이후에 다시 발생하지 않았지만, 이 항목을 계속 유지하여야할 필요성을 보여주고 있다. 2예에서 보이는 3% 이상의 선량을 차이는 IMRT 치료 시스템의 문제라기보다는 개별 환자의 특성에서 기인한 것으로 생각할 수 있다. 즉 선량 분포의 변화가 급격한 경우에 해당하는 것이다. Film dosimetry 비교는 정량적으로 시행하는 것이 바람직하지만, 본 연구에서는 정성적인 분석에 머물렀다. Film dosimetry 자체가 갖고 있는 선량 비선형성 문제를 극복하고 RTP와 dosimetry의 registration 방법에 대한 연구가 선행되어야 할 필요가 있다. IMRT QA에서 dry run image와 simulate image의 자동 비교방법 개발과 함께 추후 계속 연구가 진행될 필요가 있다고 사료된다.<sup>26)</sup> IMRT data commissioning 및 확인 과정은 이 논문의 범위를 벗어나므로 논의에서 제외하였고, 이미 조병철 등<sup>24)</sup>이 2001년에 이에 관한 상세한 보고를 한 바 있다. 이 보고와 같은 방법으로 RTP에서 사용할 수 있도록 beam data commissioning을 정상적으로 마쳐서 RTP가 생성하는 결과의 정확도 및 정밀성이 확인된 경우, 환자에 관한 IMRT 최적화 및 선량 계산 확인은 최초 1회만으로도 충분하다. 그러나 IMRT가 신기술이고, 또 선소의 변화에 따라 선량 분포를 재단할 수 있는, 유용하지만 잘 관리되지 않을 때는 오히려 위험할 수도 있는 치료법이라는 점을 감안할 때, 단 1예에 대한 실험만으로 계속 사용하기에는 현재의 기술 수준을 신뢰하기에는 무리가 따른다. 본 연구에서 12예에 대한 QA program 시행 결과, 선량 분포 및 선량율은 설명이 가능한 예외적인 경우를 제외하고는 예상 값과

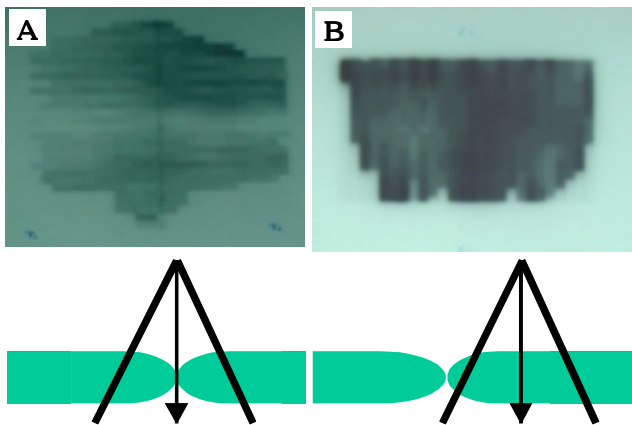


Fig. 8. The Leaf end leakage effect due to the Varian MLC design. High dose straight line in (A) indicates the leaf end leakage due to the round end shape MLC. This effect can be removed by placing the MLC end out side the treatment field (B).

Table 4. Recommended Intensity Modulated Radiation Therapy Patients Quality Assurance Program for an Institution in Which Intensity Modulated Radiation Therapy is a Routine Procedure

	Items	Time required (min)
RTP <sup>†</sup> related QA	Constraint and plan review	5
	Beam pattern, isodose, DVH <sup>‡</sup> , documents generation	10
	Chart	*
	Point dose measurement	Sampling test
Treatment information delivery related QA	MLC <sup>§</sup> control file	5
	Comparison of simulate image and beam pattern	5
	Simulation (or DRR <sup>  </sup> ) image and isocenter information	10
Treatment related QA	Localization image verification	*
	Comparison of verification image and simulate image	10
	Varis (Record & Verify system) data input	*
	Verification of leaf sequence	N/A <sup>¶</sup>

\*Not considered here, since the procedures are same as conformal therapy or conventional therapy, <sup>†</sup>Radiation treatment planning, <sup>‡</sup>Dose-volume histogram, <sup>§</sup>Multi-leaf collimator, <sup>||</sup>Digitally reconstructed radiograph, <sup>¶</sup>Not applicable

측정값이 허용 오차 범위 3%를 벗어나지 않았다. 따라서 앞으로 모든 환자에 대해 측정을 반복하는 것보다는 현재 12에 이후의 10여 예에 대해서는 한 예 걸러 한번씩 측정을 실시하고, 다시 그 후에는 통상적인 치료 계획과 같이 샘플링 개념의 측정을 실시할 계획이다. Dry run 역시 정규 시간 이외에 측정을 하여야 한다는 측면에서 같은 개념으로 접근할 수 있겠다. 처음 시행하는 MLC dry run 실험에서 Fig. 8A와 같이 dry run 영상의 치료면 가운데를 가로지르는 한개의 줄을 발견할 수가 있었다. 이는 치료 계획과는 무관한 것으로 RTP system의 leaf sequence의 논리 오류로 사료된다. Varian MLC는 leaf의 끝이 둥근 형태를 띄고 있으며, 따라서 두개의 leaf가 만난 지점에 double focusing MLC와 달리 상당량의 선량 누출이 생기게 된다.<sup>23)</sup> 즉, 치료가 이미 끝난 leaf의 경우 leaf의 위치를 조사하면 중앙에 오도록 leaf sequence를 설계하면, 방사선이 둥근 모양의 leaf end를 따라 새어 나오는 현상 때문에 생긴 불필요한 과 선량 부위가 발생한 것이다. 이 문제를 없애기 위해서는, 본원에서 개발한 MLC converter 소프트웨어에서 RTP system에서 만든 leaf sequence를 변형하여 방사선 조사가 끝난 leaf는 leaf end가 조사면 바깥으로 빠지도록 하였다. 이후에는 이런 선량분포를 보이지 않게 되었다(Fig. 8B). 차후 DICOM RT 지원이 이루어지더라도, 이 부분에 대한 관심은 유지할 필요가 있으며, 이는 Helax System만의 문제가 아닌 다른 RTP system에서도 관심을 갖고 관찰할 필요가 있는 대목이다. 이 점이 이 항목의 정당성을 확인해 주는 대목이기도 하지만, 일정한 횡수 이상 확인을 거치면, 그 이후는 개별적 환자에 대한 QA 보다는 MLC의 QA를 실시함으로써 대체할 수 있을 것으로 생각한다. Table 4는 이런 논의를 바탕으로 하여 충분한 횡수의 환자에 대한 QA 경험이 있을 경우에 권고할 수 있는 QA program이다. 이는 통상의 입체조형치료 QA와 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

맨 처음으로 세기변조방사선치료를 시행하는 상황이라면 모든 항목을 반드시 반복해야 중대한 오류를 피할 수 있을 것으로 생각되고, 만약 경험이 많이 쌓이고 신뢰의 수준이 증가된다면 각 항목의 과정을 Table 4의 제안처럼 다소 변화시키는 것도 가능할 것으로 생각된다.

결론적으로, 본원에서 시행한 세기변조방사선치료 환자의 QA는 적절하였으며 앞으로 더욱 많은 임상 적용을 통해서 QA 항목의 조정과 고찰이 필요할 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

1. **Brahme A, Roos JE, Lax I.** Solution of an integral equation encountered in rotation therapy. *Phys Med Biol* 1982;27:1221-1229
2. **Webb S.** Optimizing the planning of intensity-modulated radiotherapy. *Phys Med Biol* 1994;39:2229-2246
3. **Holmes TW, Mackie TR.** A comparison of three inverse treatment planning algorithms. *Phys Med Biol* 1994;39:91-106
4. **Mohan R, Wang X, Jackson A, et al.** The potential and limitations of the inverse radiotherapy technique. *Radiother Oncol* 1994;32:232-248
5. **Bortfeld T, Boyer AL, Schlegel W, Kahler DL, Walden TJ.** Realization and verification of three-dimensional conformal radiotherapy with modulated fields. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;30:899-908
6. **Xing L, Chen G.** Iterative methods for inverse treatment planning. *Phys Med Biol* 1996;41:2107-2123
7. **안승도.** 세기변조 방사선치료 구현을 위한 실용적인 최적화 알고리즘 개발. 울산대학교 대학원 학위 논문 1997
8. **Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group.** Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51:880-914
9. **Martinez AA, Yan D, Lockman D, et al.** Improvement in dose escalation using the process of adaptive radiotherapy combined with three-dimensional conformal or intensity-modulated beams for prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;50:1226-1234
10. **Portelance L, Clifford Chao KS, Grigsby PW, Bennet H, Low D.** Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) reduces small bowel, rectum, and bladder doses in patients with cervical cancer receiving pelvic and para-aortic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51:261-266
11. **Ling CC, Burman C, Chui, et al.** Conformal radiation treatment of prostate cancer using inversely-planned intensity-modulated photon beams produced with dynamic multi-leaf collimation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996;35:721-730
12. **Meeks SL, Buatti JM, Bova FJ, Friedman WA, Mendenhall WM, Zlotecki RA.** Potential clinical efficacy of intensity-modulated conformal therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;40:483-495
13. **Boyer AL, Geis P, Grant W, Carol M.** Modulated beam conformal therapy for head and neck tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;39:227-236
14. **Mackie TR, Holmes TW, Swerdloff S, et al.** Tomotherapy: a new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy. *Med Phys* 1993;20:1709-1719
15. **Yu CX.** Intensity-modulated arc therapy with dynamic multi-leaf collimation: an alternative to tomotherapy. *Phys Med Biol* 1995;40:1435-1449



16. **Spirou S, Chui G.** Generation of arbitrary intensity profiles by dynamic jaws or multileaf collimators. *Med Phys* 1994;21:1031-1041
17. **Bortfeld TR, Kahler DL, Waldron TJ, et al.** X-ray field compensation with multileaf collimators. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;28:723-730
18. **Xia P, Verhey LJ.** Multileaf collimator leaf sequencing algorithm for intensity modulated beams with multiple static segments. *Med Phys* 1998;26:1424-1434
19. **Boyer AL, Yu CX.** Intensity-modulated radiation therapy with dynamic multileaf collimators. *Semin Radiat Oncol* 1999;9:48-59
20. **Webb S.** Intensity-modulated radiation therapy: dynamic MLC (DMLC) therapy, multisegment therapy and tomotherapy. An example of QA in DMLC therapy. *Strahlenther Onkol* 1998;174(Suppl 2):8-12
21. **Ma L, Geis PB, Boyer AL.** Quality assurance for dynamic multileaf collimator modulated fields using a fast beam imaging system. *Med Phys* 1997;24:1213-1220
22. **Saw CB, Ayyangar KM, Zhen W, Thompson RB, Enke CA.** Commissioning and quality assurance for MLC-based IMRT. *Med Dosim* 2001;26:125-133
23. **Yi B, Xing L, Chen, Boyer A.** Quality Assurance of Dynamic Arc Multileaf Collimator. *Med Phys* (submitted) 2001
24. **Cho BC, Park SW, Oh DH, Bae H.** Quality assurance for intensity modulated radiation therapy. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol* 2001;19:275-286
25. **AAPM.** Comprehensive QA for radiation oncology: Report of American Association of Physicists in Medicine, Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med Phys* 1994;21:581-618
26. **Kim SY, Yi BY, Choi EK, et al.** Film dosimetry system for routine QA and IMRT QA (Abstr.). *Med Phys* 2001;28:1291

---

**Abstract**

---

## Quality Assurance of Patients for Intensity Modulated Radiation Therapy

Sang Min Yoon, M.D., Byong Yong Yi, Ph.D., Eun Kyung Choi, M.D.  
Jong Hoon Kim, M.D., Seung Do Ahn, M.D. and Sang-wook Lee, M.D.

Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center,  
College of Medicine, University of Ulsan, Seoul, Korea

**Purpose:** To establish and verify the proper and the practical IMRT (Intensity-modulated radiation therapy) patient QA (Quality Assurance).

**Materials and Methods:** An IMRT QA which consists of 3 steps and 16 items were designed and examined the validity of the program by applying to 9 patients, 12 IMRT cases of various sites. The three step QA program consists of RTP related QA, treatment information flow QA, and a treatment delivery QA procedure. The evaluation of organ constraints, the validity of the point dose, and the dose distribution are major issues in the RTP related QA procedure. The leaf sequence file generation, the evaluation of the MLC control file, the comparison of the dry run film, and the IMRT field simulate image were included in the treatment information flow procedure QA. The patient setup QA, the verification of the IMRT treatment fields to the patients, and the examination of the data in the Record & Verify system make up the treatment delivery QA procedure.

**Results:** The point dose measurement results of 10 cases showed good agreement with the RTP calculation within 3%. One case showed more than a 3% difference and the other case showed more than 5%, which was out side the tolerance level. We could not find any differences of more than 2 mm between the RTP leaf sequence and the dry run film. Film dosimetry and the dose distribution from the phantom plan showed the same tendency, but quantitative analysis was not possible because of the film dosimetry nature. No error had been found from the MLC control file and one mis-registration case was found before treatment.

**Conclusion:** This study shows the usefulness and the necessity of the IMRT patient QA program. The whole procedure of this program should be performed, especially by institutions that have just started to accumulate experience. But, the program is too complex and time consuming. Therefore, we propose practical and essential QA items for institutions in which the IMRT is performed as a routine procedure.

---

**Key Words:** Intensity modulated radiation therapy, Quality assurance