

세기조절방사선치료(IMRT)의 Commissioning 및 정도관리: AAPM TG119 적용

울산대학교 의과대학 서울아산병원 방사선종양학교실

안우상 · 조병철

본 연구에서는 미국의학물리학회(AAPM)에서 제안된 세기조절방사선치료(IMRT)의 commissioning 및 정도관리를 위해 제안된 일련의 시험을 통해 본원의 세기조절방사선치료의 정확도를 평가하고 정도관리 절차를 수립하고자 하였다. TG119에 제시된 5가지 세기조절방사선치료의 표적체적: multi-target, 두경부, 전립선, 및 두 가지의 C-shape (easy&hard)을 대상으로 CT 스캔된 팬텀을 이용하여 치료계획시스템에서 IMRT 치료계획을 수행하였다. 얻어진 치료계획을 dynamic sliding window 전달방식으로 팬텀에 조사하였다. 절대 선량은 표적 및 위험장기 부위에 이온 전리함(CC13, IBA)을 이용하여 측정하고, 2차원 상대 선량분포는 EBT2 필름을 사용하여 측정하였다. 측정된 값들은 해당하는 치료계획시스템 계산값과 비교하여 오차의 평균 및 표준편차를 구하였다. 이를 바탕으로 TG119에 제시된 신뢰구간을 계산하여 제시된 값과 비교하였다. 이온 전리함을 이용한 측정 결과에서 표적 및 위험장기에 대한 계산값과 측정값 사이의 평균오차는 각각 $1.2 \pm 1.1\%$ 과 $1.2 \pm 0.7\%$ 이었고, 95% 신뢰구간은 각각 3.4%와 2.6%로 TG119에서 제시하고 있는 4.5%와 4.7% 이내에 있었다. 필름을 이용한 측정 결과에서는 허용기준 3%/3 mm를 통과하는 감마인덱스는 평균 $97.7 \pm 0.8\%$ 로 95% 신뢰구간은 3.9%로 TG119에서 제시하고 있는 7.0% 이내에 있었다. 따라서 TG119에서 제시된 일련의 표준화된 시험을 통해 본원의 세기조절방사선치료의 commissioning 및 정도관리를 평가할 수 있었다. 이온 전리함을 이용한 절대 선량에 대한 action level은 표적과 위험장기에서 각각 $\pm 4\%$ 와 $\pm 3\%$ 로, EBT2 필름을 이용한 2차원 상대선량분포는 허용기준 3%/3 mm 기준으로 감마인덱스 1이하를 통과하는 비율이 96%로 정할 수 있었다. 이를 통해 TG119에서 제시된 일련의 표준화된 시험을 통해 각 기관의 IMRT 정확도 평가에 대한 객관적인 지표로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

중심단어: 세기조절방사선치료(IMRT), Commissioning, 정도 관리(Quality assurance)

서 론

방사선치료의 궁극적인 목표는 표적체적에 충분한 치료 선량을 조사하면서 동시에 주변 정상조직에 들어가는 선량을 최소화하는데 있다.^{1,2)} 이러한 목표를 달성하기 위해서 역방향계획(inverse planning)을 기초로 한 세기조절방사선치료(Intensity-modulated Radiation Therapy, IMRT)가 도입되었다.^{3,4)} 이러한 세기조절방사선치료는 기존의 3차원입체조형방사선치료(Three-dimensional Radiation Therapy, 3DCRT)

보다 표적체적에는 고선량을 조사하면서 주변 정상조직에는 최소한의 선량을 전달하도록 최적화된 비균일 플루언스(nonuniform fluence)를 만들어 원하는 선량분포를 형성하게 된다.⁵⁾

이러한 세기조절방사선치료가 임상적으로 적용되기 위해서 환자의 모의치료, 치료계획, 치료 과정까지 장비의 정확성이 요구되며, 특히 전산화치료계획시스템(treatment planning system)의 commissioning이 필수적이다. 또한 방사선 치료계획된 대로 정확히 조사되는지 선량 검증하는 세기조절방사선치료의 정도관리(quality assurance, QA)가 반드시 선행되어야 한다.

본 연구에서는 미국의학물리학회(American Association of Physicists in Medicine, AAPM)에서 제안된 세기조절방사선치료의 commissioning 및 정도관리⁶⁾를 위해 제안된 일련의 시험 및 절차를 통해 본원의 세기조절방사선치료의 정확도를 평가하고 정도관리 절차를 수립하여 신뢰구간과 action

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0024923).
이 논문은 2011년 6월 8일 접수하여 2011년 6월 27일 채택되었음.
책임저자 : 조병철, (138-736) 서울시 송파구 올림픽로43길 88 (풍납 2동 388-1)
울산대학교 의과대학 서울아산병원 방사선종양학교실
Tel: 02)3010-4437, Fax: 02)3010-6950
E-mail: bcho@amc.seoul.kr

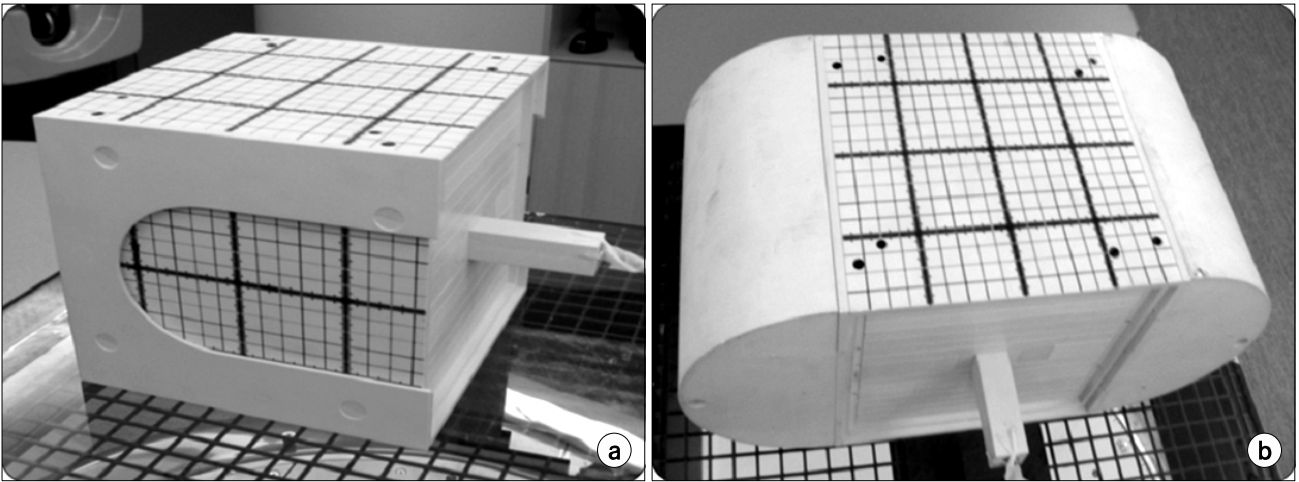


Fig. 1. Two configurations of the water-equivalent solid phantom used for (a) multi-target, head and neck, C-shape (easy&hard) and (b) prostate.

level을 정하고자 하였다.

대상 및 방법

선형가속기는 120 millenium MLC가 장착된 Trilogy (Varian, USA)을 이용하여 IMRT 정도관리를 실시하였다. 측정용 팬텀은 고체물등가물질인 IMRT용 팬텀(IBA Dosimetry, Germany)을 사용하였다(Fig. 1). 영상 획득은 16 slice CT 스캐너(LightSpeed RT16, GE healthcare, USA)를 이용하였다.

1. IMRT 정도관리를 위한 치료계획

IMRT commissioning과 정도관리를 위한 치료계획시스템으로 Eclipse Ver. 8.9 (Varian, USA)를 사용하였다. 광자선에 대한 선량계산 알고리즘은 convolution/superposition 방법을 사용하는 AAA (Analytical Anisotropic Algorithm)를 사용하였다.⁷⁾ IMRT을 위한 각각의 표적과 위험장기 체적은 AAPM 웹사이트(<http://www.aapm.org/pubs/tg119/default.asp>)에서 제공하는 구조 세트(structure sets)를 이용하였다. Multi-target, 전립선, 두경부, C-shape (easy&hard) 등 총 5가지를 대상으로 IMRT 치료계획을 수행하였다(Fig. 2). 정도관리에 사용된 에너지는 모두 6 MV 광자선을 이용하고 7 또는 9문 조사영역(field)으로 처방선량은 180~200 cGy를 사용하였다. 각각의 IMRT 치료계획에 대한 최적화(optimization)는 TG119에 제시된 조건⁶⁾을 사용하였고, 얻어진 치료계획은 dynamic sliding window 전달방식을 이용하였다.

2. 이온 전리함과 필름 교정

측정에 사용된 전리함은 유효부피가 0.13 cc인 이온전리함(CC13, IBA)과 전위계는 DOSE-1 (Wellhofer, Germany)을 사용하였다. 200 cGy를 전달하기 위한 MU (monitor unit)값을 치료계획시스템을 통해 구하고, IMRT 정도관리 시, 매 측정 전에 좌우대칭조사면(bilateral parallel opposing field)으로 측정된 전기계의 전하량(nC)을 측정하여 이온 전리함 교정값을 구하였다.

2차원 선량분포를 측정하기 Gafchromic EBT2 필름을 이용하였고 선량 평가를 위해서는 선량-픽셀값 교정곡선을 얻어야한다. 이를 위해서 선형가속기 선원과 고체물팬텀(40×40×10 cm³) 표면간 거리(Source to Surface Distance, SSD)를 100 cm에서 팬텀 표면으로부터 5 cm 깊이에 필름을 삽입하고 5×5 cm² 조사면을 사용하였다. 광자선 에너지 6 MV에 대해 0~500 cGy까지 조사하였다. 조사된 필름은 안정화를 위해 약 24시간 지난 후⁸⁾ 평판형(flat-bed) 필름스캐너(Expression 1680 pro, EPSON Co., Japan)를 이용하여 48 비트(bit)의 표준 RGB 모드로 스캔하였다. 필름을 스캐너의 정중앙에 위치시키고 EBT2 필름 방향 의존성을 최소화하기 위해 동일한 필름 방향(orientation)으로 스캔하였다. 스캐너 광원의 균일성 효과는 조사하지 않은 필름을 스캔한 후 분석 소프트웨어(OmniPro 1mRT Ver. 1.7b, IBA Dosimetry, Germany)를 이용하여 보정하고 최종적으로 선량-픽셀값 교정곡선을 얻었다.

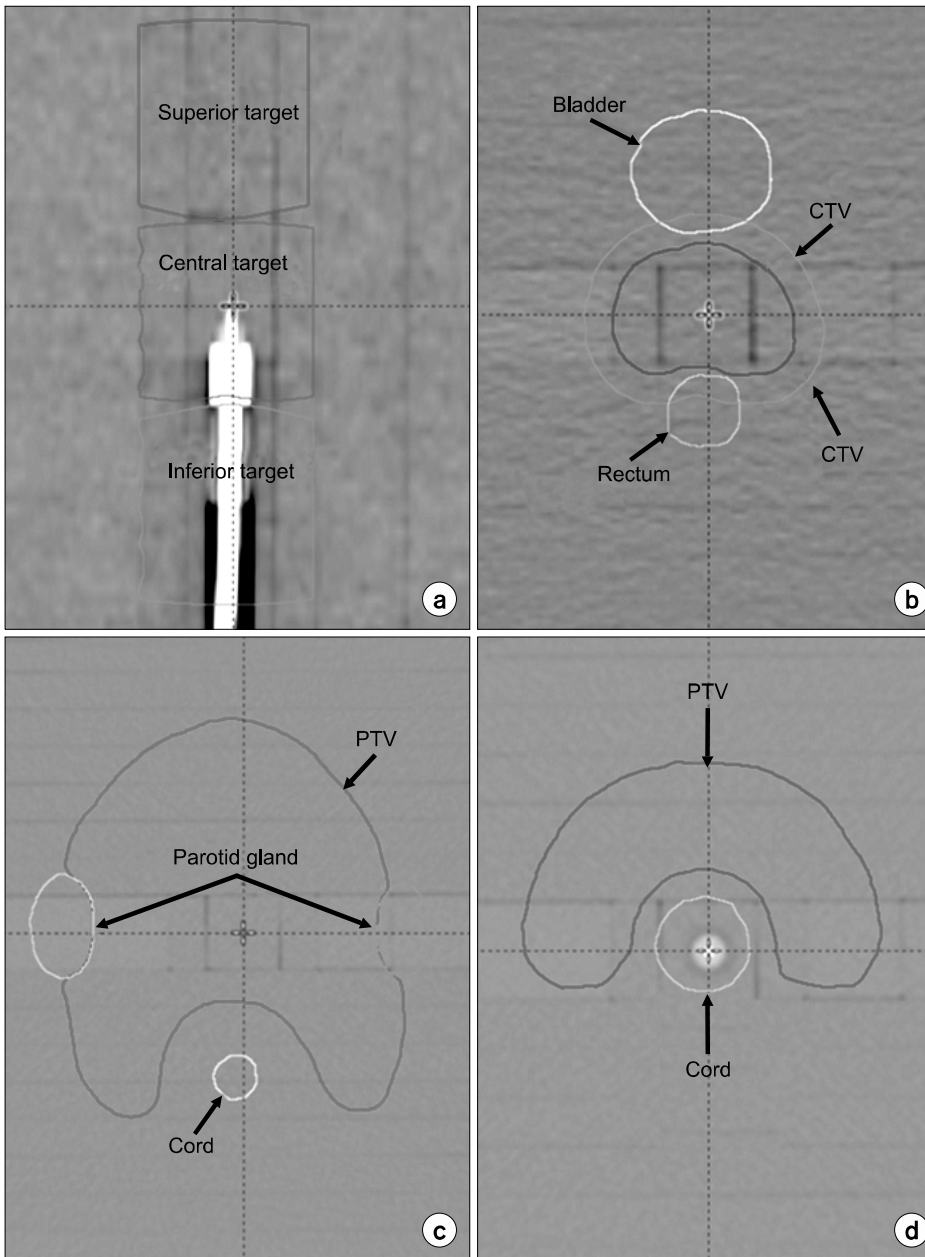


Fig. 2. Structures of target and organ at risk: (a) multi-target (b) prostate (c) head and neck (d) C-shape.

3. IMRT 선량 측정 및 평가

각각의 표적체적에 대한 IMRT 선량 검증은 절대선량과 2차원 상대 선량분포 측정을 통해 이루어졌다. 절대 선량은 Table 1과 같이 각각의 표적(target) 및 위험장기(Organ at Risk, OAR) 지점에서 이온 전리함을 이용하여 측정하였다. 각 측정 지점에서 치료계획시스템의 계산값과 이온전리함을 이용한 측정값 사이의 상대오차를 구하고 오차의 평균(mean)과 표준편차(σ)를 구하였다.

$$Confidence\ limit = |mean| + 1.96\sigma \quad (1)$$

2차원 선량분포의 경우 Table 2와 같이 각각의 측정 위치에서 EBT2 필름을 이용한 선량분포와 치료계획시스템에서 계산된 선량분포를 비교하였다. 2차원 선량분포 비교를 정량적으로 평가하기 위해 많이 이용되는 감마인덱스(γ index)를 사용하였다.

본 연구에서는 IMRT 분석 소프트웨어(OmniPro I'mRT Ver. 1.7b, IBA Dosimetry, Germany)를 사용하여 EBT2 필름

으로 측정된 2차원 선량분포와 치료계획시스템에서 계산된 선량분포를 비교하였다. 선량 차이와 거리 차이의 허용 기준은 TG119에서 기준으로 한 3%/3 mm하였고, 최대선량(maximum dose)의 10%까지는 문턱선량(threshold dose)으로 설정하여 그 이하에서는 선량오차를 산출하지 않았다. 또한 처방선량 부근이면서 선량의 기울기가 낮은 영역을 기

준으로 normalization을 수행하였다. 각각의 측정 위치에서의 계산값과 측정값 사이의 2차원 선량분포 분석은 감마인덱스가 1 이하로 허용기준을 통과하는 비율(pass rate)을 평가하고 전체 평균과 표준편차를 구하였다. 이를 바탕으로 TG119에서 제시된 95% 신뢰구간(confidence limit)을 계산하였다.

$$Confidence\ limit = |100 - mean| + 1.96\sigma \quad (2)$$

Table 1. High and low dose point in the PTV (planning target volume) and OAR measured with ion chamber.

Test	Dose region	Measurement point
Multi-target	High	Isocenter
	Low	4.0 cm superior to isocenter
	Low	4.0 cm inferior to isocenter
Prostate	High	Isocenter
	Low	2.5 cm posterior to isocenter
Head&Neck	High	Isocenter
	Low	4.0 cm posterior to isocenter
C-shape (easy)	High	2.5 cm anterior to isocenter
	Low	Isocenter
C-shape (hard)	High	2.5 cm anterior to isocenter
	Low	Isocenter

Table 2. High and low dose location in the PTV (planning target volume) and OAR measured with EBT2 film.

Test	Dose region	Location
Multi-target	High	Midphantom
Prostate	High	Midphantom
Head&Neck	High	Midphantom
	Low	4.0 cm posterior to midphantom
C-shape (easy)	High	2.5 cm anterior to midphantom
	Low	Midphantom
C-shape (hard)	High	2.5 cm anterior to midphantom
	Low	Midphantom

Table 3. High dose point in the PTV measured with ion chamber.

Test	Location	Measured dose (cGy)	Planned dose (cGy)	Relative error (%)*
Multi-target	Isocenter	208.9	205.2	1.9
Prostate	Isocenter	191.3	187.1	2.3
Head&Neck	Isocenter	210.3	205.8	2.3
C-shape (easy)	2.5 cm anterior to isocenter	203.9	203.8	0.0
C-shape (hard)	2.5 cm anterior to isocenter	204.2	203.2	0.5
Mean				1.2
Standard deviation (σ)				1.1
Confidence limit=(mean +1.96 σ)				3.4

*(measured dose-planned dose)/prescription dose per fraction.

Table 4. Low dose point in the OAR measured with ion chamber.

Test	Location	Measured dose (cGy)	Planned dose (cGy)	Relative error (%)*
Multi-target	4.0 cm superior to isocenter	130.5	128.8	0.8
	4.0 cm inferior to isocenter	65.5	63.9	0.8
Prostate	2.5 cm posterior to isocenter	130.1	128.4	0.9
Head&Neck	4.0 cm posterior to isocenter	157.1	154.5	1.3
C-shape (easy)	Isocenter	70.7	66.1	2.3
C-shape (hard)	Isocenter	65.6	61.0	2.3
Mean				1.2
Standard deviation (σ)				0.7
Confidence limit=(mean +1.96 σ)				2.6

*(measured dose-planned dose)/prescription dose per fraction.

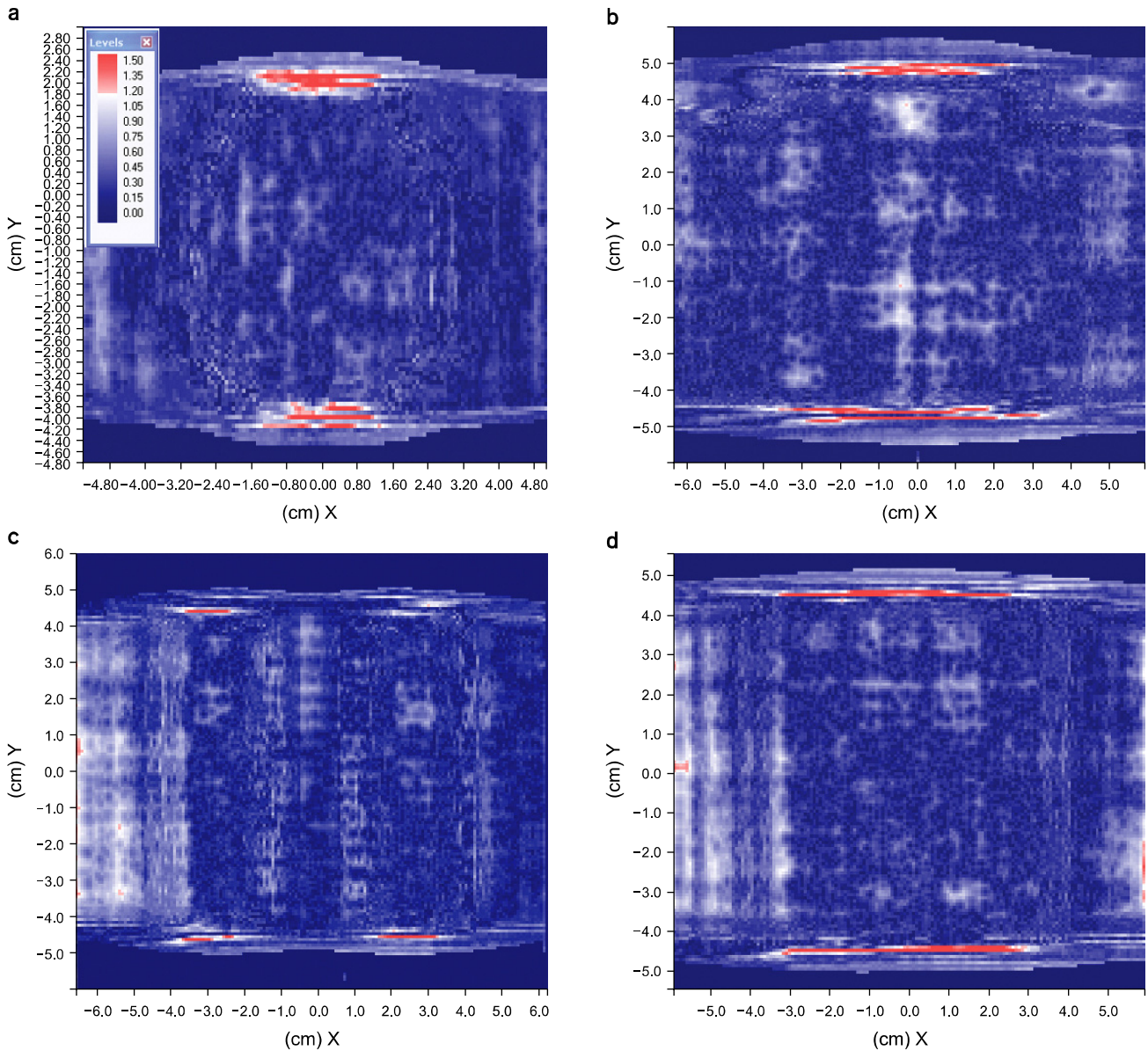


Fig. 3. Examples of gamma-index map: (a) midphantom for head and neck (b) 4.0 cm posterior to midphantom for head and neck (c) midphantom (d) 2.5 cm anterior to midphantom for head and neck.

결 과

1. 이온 전리함을 이용한 절대선량 측정

치료계획시스템에서 계산된 각각의 표적과 위험장기에 대한 선량 평가는 점으로 평가하지 않고 이온 전리함의 유효부피(0.13 cc)를 반영하여 전리함 부피 안의 선량값들의 평균값을 사용하였다. 표적 지점에 대한 선량오차의 최소

값은 0.08%, 최대값은 2.25%이었으며 평균값은 $1.36 \pm 0.82\%$ 이었다(Table 3). 위험장기 지점에 대한 선량오차는 최소값은 0.82%, 최대값은 2.34%이었으며 평균값은 $1.21 \pm 0.72\%$ 이었다(Table 4). 95% 신뢰구간은 표적 및 위험장기 지점에서 각각 2.97%와 2.62%이었다. 표적과 위험장기에 대한 95% 신뢰구간은 각각 2.97%과 2.62%로 TG119에서 제시하고 있는 4.5%와 4.7% 이내에 있었다.

Table 5. EBT2 film measurement: Percentage of points passing gamma criteria of 3%/3 mm.

Test	Location	Pass rate (%)
Multi-target	Isocenter	98.5
Prostate	Isocenter	97.7
	2.5 cm posterior to isocenter	98.5
Head&Neck	Isocenter	97.8
	4.0 cm posterior to isocenter	96.5
C-shape(easy)	2.5 cm anterior to isocenter	98.2
	Isocenter	97.6
C-shape(hard)	2.5 cm anterior to isocenter	96.4
	Isocenter	98.0
Mean		97.7
Standard deviation (σ)		0.8
Confidence limit=(mean +1.96 σ)		3.9
		(i.e., 96.1% passing)

2. EBT2 필름을 이용한 상대선량 측정

OmniPro 1mRT 소프트웨어를 이용하여 EBT2 필름으로 측정된 2차원 선량분포와 치료계획시스템에서 계산한 선량분포 분석할 때 허용기준을 3%/3 mm로 설정하여 평가하였고 감마인덱스 분석 결과는 Fig. 3과 같다. 5가지 IMRT 대상으로 표적 위치에서 2차원 선량분포 비교 결과, 허용기준을 통과하는(감마인덱스 1 이하) 최소비율은 C-shape (easy)로 96.44%, 최대비율은 multi-target으로 98.54%이었다. 위험장기 위치에서 허용기준을 통과하는 최소비율은 두경부(head&neck)로 96.49%, 최대비율은 전립선(prostate)로 98.49%이었다. 모든 표적과 위험장기 위치에서 허용기준을 통과하는 평균비율은 97.69±0.77%이었다(Table 5). 95% 신뢰구간은 3.82% (96.18% pass rate)로 TG119에서 제시하고 있는 7.0% (93.0% pass rate) 이내에 있었다.

결 론

본 연구에서는 세기조절방사선치료의 commissioning 및 정도관리를 위해 TG119에서 제시된 일련의 표준화된 시험을 통하여 본원의 IMRT 정도관리 수행하였다. Multi-target,

전립선, 두경부, C-shape (easy&hard) 등의 5가지 대상에 대해 IMRT 정도관리가 이루어졌고, 이온 전리함과 EBT2 필름을 이용하여 표적과 위험장기 위치의 절대선량과 2차원 선량분포를 얻어 비교 분석하였다. 절대 선량과 2차원 선량분포 분석 결과 모두 TG119에서 제시하고 있는 95% 신뢰구간 이내에 존재하였다. IMRT 정도관리 시행 시 action level은 절대 선량의 경우 표적과 위험장기에서 ±4%와 ±3%로 정할 수 있었다. 또한 EBT2 필름을 이용한 2차원 선량분포는 허용기준 3%/3 mm 기준을 통과하는 감마인덱스 1이하를 통과하는 비율이 96%로 action level을 정할 수 있었다. 이를 통해 TG119의 표준화된 시험은 IMRT 정확도 평가에 대한 객관적인 지표로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Khan FM: *The Physics of Radiation Therapy*. 4th ed, Williams & Wilkins, Baltimore, MD (2010), pp. 413-429
2. ICRU Report 50: Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy, International Commission on Radiation Units and Measurement, Bethesda (1993)
3. Ezzell GA, Galvin JM, Low D, et al.: Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT: Report of the IMRT subcommittee of the AAPM radiation therapy committee. *Med Phys* 30:2089-2115 (2003)
4. Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity- modulated radiotherapy: current status and issues of interest. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 51:880-914 (2001)
5. Khan FM: Treatment Planning in Radiation Oncology. 2nd ed, Williams & Wilkins, Philadelphia. PA (2005) 142-165 (2007)
6. Ezzell GA, Burmeister JW, Dogan N, et al: IMRT commissioning: multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. *Med Phys* 36:5359-5373 (2009)
7. VARIAN: Eclipse Algorithm Reference Guide, VARIAN Medical Systems, US (2006)
8. Richley L, John A C, Coomber H, et al: Evaluation and optimization of the new EBT2 radiochromic film dosimetry system for patient dose verification in radiotherapy. *Phys Med Biol* 55:2601-2617 (2010)

Intensity Modulated Radiation Therapy Commissioning and Quality Assurance: Implementation of AAPM TG119

Woo Sang Ahn, Byung Chul Cho

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

The purpose of this study is to evaluate the accuracy of IMRT in our clinic from based on TG119 procedure and establish action level. Five IMRT test cases were described in TG119: multi-target, head&neck, prostate, and two C-shapes (easy&hard). There were used and delivered to water-equivalent solid phantom for IMRT. Absolute dose for points in target and OAR was measured by using an ion chamber (CC13, IBA). EBT2 film was utilized to compare the measured two-dimensional dose distribution with the calculated one by treatment planning system. All collected data were analyzed using the TG119 specifications to determine the confidence limit. The mean of relative error (%) between measured and calculated value was $1.2 \pm 1.1\%$ and $1.2 \pm 0.7\%$ for target and OAR, respectively. The resulting confidence limits were 3.4% and 2.6%. In EBT2 film dosimetry, the average percentage of points passing the gamma criteria (3%/3 mm) was $97.7 \pm 0.8\%$. Confidence limit values determined by EBT2 film analysis was 3.9%. This study has focused on IMRT commissioning and quality assurance based on TG119 guideline. It is concluded that action level were $\pm 4\%$ and $\pm 3\%$ for target and OAR and 97% for film measurement, respectively. It is expected that TG119-based procedure can be used as reference to evaluate the accuracy of IMRT for each institution.

Key Words: Intensity modulated radiation therapy (IMRT), Commissioning, Quality assurance