

Assessment for the Utility of Treatment Plan QA System according to Dosimetric Leaf Gap in Multileaf Collimator

Soon Sung Lee*[†], Sang Hyoun Choi^{††}, Chul Kee Min[§], Woo Chul Kim[§], Young Hoon Ji*^{††},
Seungwoo Park[†], Haijo Jung*[†], Mi-Sook Kim*^{††}, Hyung Jun Yoo[†], Kum Bae Kim*^{††}

*Radiological & Medico-Oncological Sciences, University of Science and Technology, Daejeon,
[†]Research Center for Radiotherapy, ^{††}Department of Radiation Oncology, Korea Institute of
Radiological and Medical Sciences, Seoul, [§]Department of Radiation Oncology,
Soon Chun Hyang University Hospital Cheonan, Cheonan, Korea

For evaluating the treatment planning accurately, the quality assurance for treatment planning is recommended when patients were treated with IMRT which is complex and delicate. To realize this purpose, treatment plan quality assurance software can be used to verify the delivered dose accurately before and after of treatment. The purpose of this study is to evaluate the accuracy of treatment plan quality assurance software for each IMRT plan according to MLC DLG (dosimetric leaf gap). Novalis Tx with a built-in HD120 MLC was used in this study to acquire the MLC dynalog file be imported in MobiusFx. To establish IMRT plan, Eclipse RTP system was used and target and organ structures (multi-target, mock prostate, mock head/neck, C-shape case) were contoured in I'mRT phantom. To verify the difference of dose distribution according to DLG, MLC dynalog files were imported to MobiusFx software and changed the DLG (0.5, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6 mm) values in MobiusFx. For evaluation dose, dose distribution was evaluated by using 3D gamma index for the gamma criteria 3% and distance to agreement 3 mm, and the point dose was acquired by using the CC13 ionization chamber in isocenter of I'mRT phantom. In the result for point dose, the mock head/neck and multi-target had difference about 4% and 3% in DLG 0.5 and 0.7 mm respectively, and the other DLGs had difference less than 3%. The gamma index passing-rate of mock head/neck were below 81% for PTV and cord, and multi-target were below 30% for center and superior target in DLGs 0.5, 0.7 mm, however, inferior target of multi-target case and parotid of mock head/neck case had 100.0% passing rate in all DLGs. The point dose of mock prostate showed difference below 3.0% in all DLGs, however, the passing rate of PTV were below 95% in 0.5, 0.7 mm DLGs, and the other DLGs were above 98%. The rectum and bladder had 100.0% passing rate in all DLGs. As the difference of point dose in C-shape were 3~9% except for 1.3 mm DLG, the passing rate of PTV in 1.0 1.3 mm were 96.7, 93.0% respectively. However, passing rate of the other DLGs were below 86% and core was 100.0% passing rate in all DLGs. In this study, we verified that the accuracy of treatment planning QA system can be affected by DLG values. For precise quality assurance for treatment technique using the MLC motion like IMRT and VMAT, we should use appropriate DLG value in linear accelerator and RTP system.

Key Words: Multileaf Collimator, IMRT, AAPM TG-119 report, Dosimetric leaf gap, MobiusFx

서 론

This research was supported by the National R&D Program through the Korea Institute of Radiological and Medical Sciences funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (No.1711022077, No.1711021932).

Received 27 August 2015, Revised 20 September 2015, Accepted 21 September 2015

Correspondence: Kum Bae Kim (kbaekim@krams.re.kr)

Tel: 82-2-970-2475, Fax: 82-2-970-2412

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근 세기변조방사선치료(IMRT)와 같이 복잡하고 정교한 방사선치료 기법을 이용한 환자 치료 시에는 치료계획의 정확성 평가가 매우 중요하다. 이러한 이유로 환자별 치료계획의 품질관리에 대한 관심이 점차 증가하고 있다.^{1,2)} IMRT는 종양의 크기와 모양에 최적의 선량분포를 형성할 수 있는 장점이 있지만 비균일 플루언스(flucence)로 선량분포를 생성하는 특성상 치료계획부터 방사선치료기의 정확

성 확인이 매우 중요하다.^{3,4)} 이와 같이 종양에 최적화된 선량분포는 방사선치료기에 장착된 다엽콜리메이터(multileaf collimator, MLC)에 의하여 형성되기 때문에 결과적으로 MLC의 정확성은 종양에 전달되는 선량에 큰 영향을 미치게 된다.^{5,6)} 미국의학물리학회 Task Group 142 보고서(AAPM TG-142 Report)에서는 방사선치료기기의 정도관리 절차로 MLC에 대하여 엽의 위치(leaf position)의 정확성과 엽의 속도(leaf speed) 등을 점검하도록 권고하고 있다.⁸⁾ 이 중 엽의 위치는 MLC의 선량학적엽간격(dosimetric leaf gap, DLG)에 따라 변하게 된다. MLC DLG는 실제 조사야의 가장 자리와 MLC의 가장 자리 간 간격의 두 배의 간격으로 정의되며, 선량 계산에 반영될 수 있도록 치료계획시스템에 입력할 수 있게 되어있다. 따라서 DLG가 다른 값으로 치료계획시스템에 입력되면 선량적으로 큰 차이를 가져온다. Lee 등은 치료계획시스템에 부적합한 DLG를 적용함에 따라 선량계산에 오류를 가져왔으며 올바른 DLG 설정이 정도관리 또는 역선량 계산에 중요한 역할을 한다고 언급하였고,⁹⁾ Rangel 등은 두경부 IMRT 치료계획에서 0.6 mm의 DLG 차이에 의해 CTV가 약 2.0%의 선량 차이를 보였다고 보고하였다.⁹⁾ 따라서, IMRT를 임상에 적용하기 위해서는 먼저 치료계획시스템에서 정확한 치료계획이 수립되어야 하며 이 치료계획의 선량 정확성에 대한 정도관리가 반드시 이루어져야 한다.

최근 IMRT 치료계획에 대한 정도관리를 위한 다양한 연구가 진행되고 있고, 이를 위한 시스템들이 개발되고 있다. Park 등의 연구에서는 IMRT 치료 시 MLC의 위치와 실제 전달되는 선량 분할 정도, 선량을 등이 기록되어있는 MLC 다이내로그 파일(dynamic MLC log file)로 MU 공간분포를 재구성하여 치료계획시스템과 비교하는 IMRT 정도관리 기술을 개발하였고,³⁾ 최근 Mobius사에서 출시한 Mobius3D와 MobiusFx는 MLC 다이내로그 파일을 이용하여 3차원의 선량분포를 재구성하여 치료계획에서 획득한 선량분포와 표적포함(target coverage), 선량부피히스토그램(dose volume histogram, DVH), 3차원 감마지표(3D gamma index) 등에 대하여 비교 분석함으로써 IMRT 환자의 치료계획에 대하여 정도관리를 수행할 수 있다. 하지만, 이러한 정도관리 방법 또는 시스템에 실사용자가 직접 적용할 수 있는 매개변수들에 따라 정도관리의 결과에 영향을 끼칠 수 있으며, Fontenot 등은 치료계획시스템에서 사용되는 선량계산 알고리즘이나 치료계획에 반영되는 매개변수들의 누락 또는 입력 오류에 의해 선량 계산에 큰 오차를 불러온다고 언급한 바 있다.¹¹⁾ 따라서, 본 연구에서는 치료계획시스템에서 수립한

치료계획을 기준으로 DLG 값의 변화에 따른 IMRT 치료계획 정도관리시스템의 정확성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. DLG 측정

본 연구에서는 HD120 MLC가 장착된 Novalis Tx (Varian Medical Systems, Palo, Alto, CA) 방사선치료기를 사용하였다. DLG 값을 측정하기 위해 유효부피가 0.13 cc인 CC13 (IBA Dosimetry, Uppsala, Sweden) 전리함을 사용하였으며 SSD 100 cm의 물 표면부터 10.0 cm의 깊이에서 측정하였다. DLG 측정은 Varian사에서 제공하는 보고서를 바탕으로 수행하였다.⁷⁾ 먼저, 광자선 6 MV에 대한 DLG 값을 획득하기 위해 조사면 10×10 cm²에서 좌측 또는 우측 MLC만으로 조사면을 단았을 때의 빔 투과량 $R_{T,A}$ 와 $R_{T,B}$ 를 획득하였다. 또한 빔이 조사되는 동안에 DLG가 2.0, 4.0, 6.0, 10.0, 14.0, 16.0, 20.0 mm에서 일정한 속도로 이동하여 측정된 R_g 값을 측정하였다. 이 값들을 통하여 식 (1)로 좌-우측 MLC 빔 투과량의 평균값(R_T)을 획득하였다. 식 (2)를 통하여 DLG(g)에 따른 빔 투과량을 획득하였다. 식 2의 " $\frac{g[mm]}{120[mm]}$ "에서 120[mm]는 MLC가 이동하는 총 거리를 의미한다.

$$R_T = \frac{R_{T,A} + R_{T,B}}{2} \quad (1)$$

$$R_{g,T} = R_T \left(1 - \frac{g[mm]}{120[mm]} \right) \quad (2)$$

각 DLG 마다의 교정값(R_g')은 아래와 같이 구하였다(식 (3)).

$$R_g' = R_g - R_{g,T} \quad (3)$$

이와 같은 과정으로 R_g' 와 DLG간의 선형 추세선을 획득하여 해당 방사선치료기기의 DLG 값을 측정하였다.

2. 치료계획

치료계획에 사용된 영상은 I'mRT 팬텀(IBA Dosimetry, Uppsala, Sweden)을 촬영한 영상을 사용하였다. 묘사 장기는 AAPM TG-119 보고서에서 사용된 가상 다중표적(multi-target), 가상 전립선(prostate), 가상 두경부(head & neck) 그리고 C-모양(C-shape, easy)을 I'mRT 팬텀에 적용하였다. Fig. 1과 같이 다중표적은 상위표적(superior target), 중심 표적

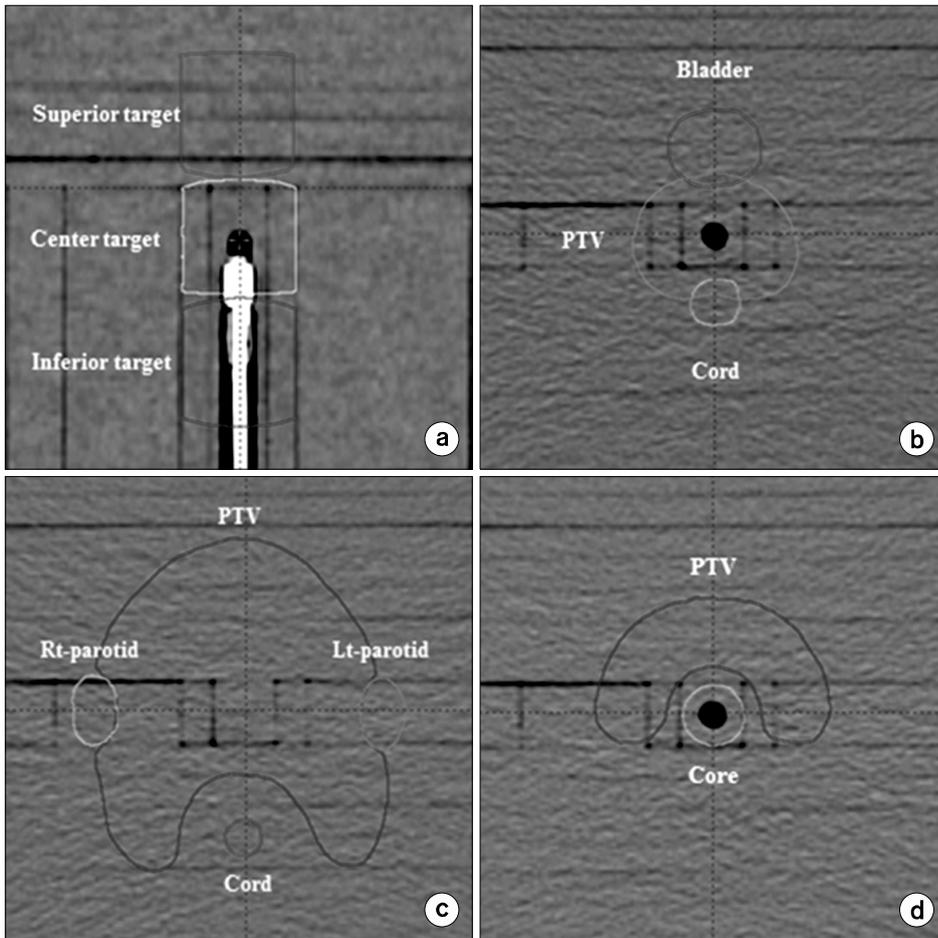


Fig. 1. The contoured structures in IMRT phantom image for (a) multi-target, (b) prostate, (c) head and neck and (d) C-shape case provided by AAPM TG-119 report.

(center target) 그리고 하위표적(inferior target)이 묘사 되었고, 가상 전립선은 PTV, 직장(rectum) 그리고 방광(bladder), 가상 두경부에서 PTV, 척수(Cord) 그리고 좌-우측 귀밑샘(right (Rt), left (Lt)-parotid gland)이 묘사되었다¹⁰⁾. 마지막으로 C-모양에서는 PTV와 코어(core)를 묘사하였다. 각 대상 마다 Eclipse 치료계획시스템(Varian Medical Systems, Palo, Alto, CA)에서 IMRT 치료계획을 수립하여 총 4가지의 치료계획으로 분류되었다. 각 치료계획의 조사면, 에너지, 빔각 등의 선속배치(beam arrangement)와 장기별 허용선량은 AAPM TG-119 보고서에서 제시한 조건과 동일하며, 처방선량은 분할당 180~200 cGy이며, 다중표적과 전립선에 대한 치료계획은 7개 조사면(field), 두경부와 C-모양은 9개 조사면으로 모두 광자선 6 MV에 대한 치료계획을 수립하였다.

3. 치료계획 품질관리 시스템

DLG에 따른 치료계획 품질관리 시스템의 효용성을 확인하기 위해 치료계획시스템에서 수립한 치료계획에 대하여

방사선치료기의 선량을 정확하게 전달하였는지를 3차원 감마지표 통과율, DVH 등으로 확인할 수 있는 MobiusFx (Mobius Medical Systems, Houston, TX)를 사용하였다. 먼저 각 경우별 치료계획을 바탕으로 방사선치료기기를 통하여 빔을 전달하였으며, 이로 인해 각 대상의 치료계획 마다 MLC 다이아로그 파일을 획득하였다. 이전 과정에서 획득한 4가지 경우의 치료계획 데이터와 MLC 다이아로그 파일을 MobiusFx에 입력하였으며, 각 MLC 다이아로그 파일마다 DLG 값을 0.5, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6 mm로 변경하여 각 DLG 마다의 선량분포를 획득하였다.

4. 선량 평가

본 연구에서 사용된 선량분포 분석 방법으로는 MobiusFx에서 제공하는 3차원 감마지표를 이용하였으며, TG-119에서 제시한 허용범위 3%/3 mm에 대한 통과율(passing rate)로 분석하였다. 또한, 팬텀의 등중심에 대한 점선량(point dose)을 분석하기 위하여 유효부피가 0.13 cc인 CC13 (IBA Dosi-

metry, Uppsala, Sweden) 이온전리함을 사용하였으며, 각 경우 별 영상마다 유효부피를 갖는 전리함을 팬텀의 등중심에 묘사하여, 실제 전리함의 측정값을 기준으로 MobiusFx와 Eclipse 치료계획시스템에서 계산된 값의 차이를 분석하였다.

서는 1.0과 1.3 mm에서 각각 0.99%, 0.23%로 1% 미만의 차이를 보이고 다른 모든 DLG는 3% 이내의 차이를 보였다. 먼저 두경부에서는 0.5, 0.7 mm에서 각각 4.17%, 3.16%의 차이를 나타냈고, 그 외의 DLG에서는 2% 미만이었다. 반면,

결 과

1. DLG 측정

Fig. 2에서 볼 수 있듯이, Novalis Tx 방사선치료기에 장착된 HD120 MLC에 대한 광자선 6 MV의 DLG를 측정할 결과 0.72 mm로 나타났으며 이 값을 Eclipse 치료계획시스템에 입력하여 모든 가상 팬텀별로 치료계획을 수립하여 선량 계산을 수행 하였다.

2. 점선량(Point Dose) 분석

Table 1에서 볼 수 있듯이, CC13 전리함으로 획득한 측정값(measured value)을 기준으로 MobiusFx에서 DLG 별로 계산된 값을 비교한 결과, 다중표적에서는 DLG 1.3, 1.6 mm에서 1% 미만의 차이를 보였고, 그 외의 DLG 에서는 최소 2.38%에서 최대 4.68%의 차이가 나타났다. 전립선 모양에

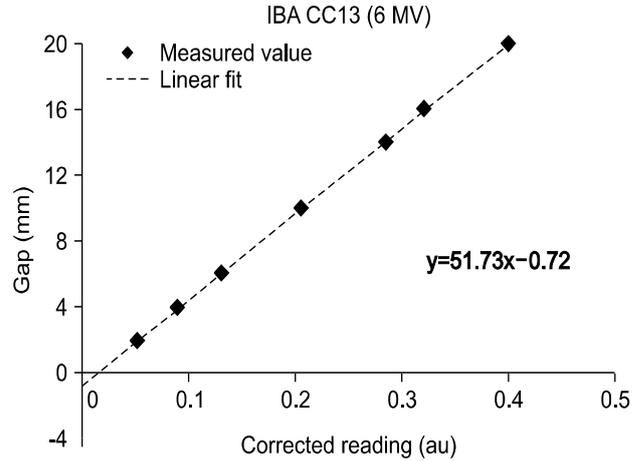


Fig. 2. The linear extrapolation for a DLG in corrected reading versus gap. The graph of DLG is for photon energy 6 MV with IBA CC13 ion chamber.

Table 1. The difference dose of calculated value in MobiusFx with calculated value in Eclipse and measured value which acquired by CC13 ion chamber.

Case	DLG (mm)	MobiusFx		Measured value (Gy)	Eclipse (Gy)
		Difference with measured (%)	Difference with eclipse (%)		
Multi-target	0.5	-4.68	-4.68	51.63	51.63
	0.7	-3.82	-3.81		
	1.0	-2.38	-2.38		
	1.3	-0.76	-0.76		
	1.6	0.34	0.35		
Prostate	0.5	-2.70	-2.64	75.90	75.86
	0.7	-2.05	-1.99		
	1.0	-0.99	-0.94		
	1.3	0.23	0.28		
	1.6	1.04	1.09		
Head & Neck	0.5	-4.17	-4.14	51.37	51.35
	0.7	-3.16	-3.13		
	1.0	-1.64	-1.61		
	1.3	0.22	0.26		
	1.6	1.51	1.54		
C-shape	0.5	-8.74	-8.68	14.49	14.48
	0.7	-6.98	-6.92		
	1.0	-3.11	-3.05		
	1.3	1.33	1.39		
	1.6	4.78	4.84		

C-모양에서는 다른 경우보다 측정값에 대한 재현성이 낮았다. 1.3 mm에서 1.33%로 다른 DLG에 비해 적은 차이를 보였으나, 0.5, 0.7, 1.0 mm에서 각각 측정값보다 8.74%, 6.98%, 3.11% 낮게 나타났고, 1.6 mm는 4.78% 높게 나타났다.

Eclipse 치료계획시스템과 MobiusFx 간에서도 모두 비슷한 차이를 보였다. 다중표적의 경우에는 DLG가 0.5, 0.7, 1.0 mm에서 최대 4.68%까지 차이를 보였고, 1.3, 1.6 mm는 모두 1% 미만이었다. 전립선 경우는 모두 3% 미만의 차이를 나타냈으며 1.3 mm에서는 0.28%로 가장 적은 차이를 확인하였다. 두경부의 경우는 0.5, 0.7 mm에서 3% 이상이었으며, 1.0, 1.3, 1.6 mm에서는 모두 2% 미만의 차이를 보였

으며 이 중 1.3 mm는 0.26%의 차이를 확인하였다. 마지막으로 C-모양은 1.33%의 선량 차이를 보인 1.3 mm를 제외하고 모든 DLG에서 3% 이상의 차이가 나타났고 0.5 mm에서 8.74%로 가장 큰 차이를 보였다.

Eclipse 치료계획시스템에서 계산된 선량과 전리함으로 측정된 측정값의 차이는 모든 경우에서 0.1% 미만의 차이를 보였다. 다중표적에서는 완전 일치하였고, 전립선과 C-모양은 -0.06% 그리고 두경부는 0.03%의 차이를 나타냈다.

3. 감마지표(Gamma Index) 분석

Table 2는 Eclipse 치료계획시스템에서 획득한 선량분포

Table 2. The gamma index passing-rate(%) of dose distribution for MobiusFx compared with dose distribution for Eclipse RTP system.

Multi-target						Prostate					
Structure	DLG (mm)					Structure	DLG (mm)				
	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6		0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
Center	16.4	28.8	97.9	99.5	96.8	PTV	81.7	91.9	99.4	99.8	99.9
Superior	13.8	15.8	61.0	99.9	97.8	Rectum	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0
Inferior	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	Bladder	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Head & Neck						C-shape					
Structure	DLG (mm)					Structure	DLG (mm)				
	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6		0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
PTV	40.5	81.0	99.5	99.9	100.0	PTV	68.5	85.5	96.7	93.0	64.4
Cord	58.9	74.9	97.6	100.0	100.0	Core	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Rt parotid	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0						
Lt parotid	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0						

Rt-parotid: Right parotid, Lt-parotid: Left parotid.

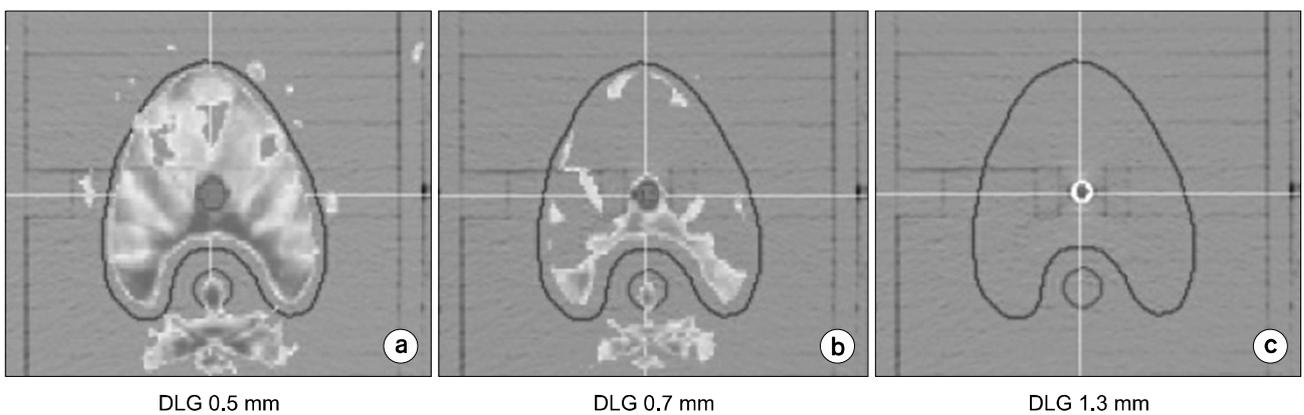


Fig. 3. The figure illustrates gamma map between Eclipse RTP system and MobiusFx according to DLG.

를 기준으로 MobiusFx에서 각 경우별 DLG마다의 선량분포를 3차원 감마지표 통과율을 분석한 결과이다. 먼저 다중표적에서 하위표적은 모든 DLG에서 99% 이상의 통과율을

보였고, 중심과 상위표적은 0.5, 0.7 mm에서 30% 미만으로 다른 DLG에 비해 현저히 낮았으며 상위표적의 1.0 mm에서 61% 통과율을 제외하고 다른 DLG에서는 모두 95%

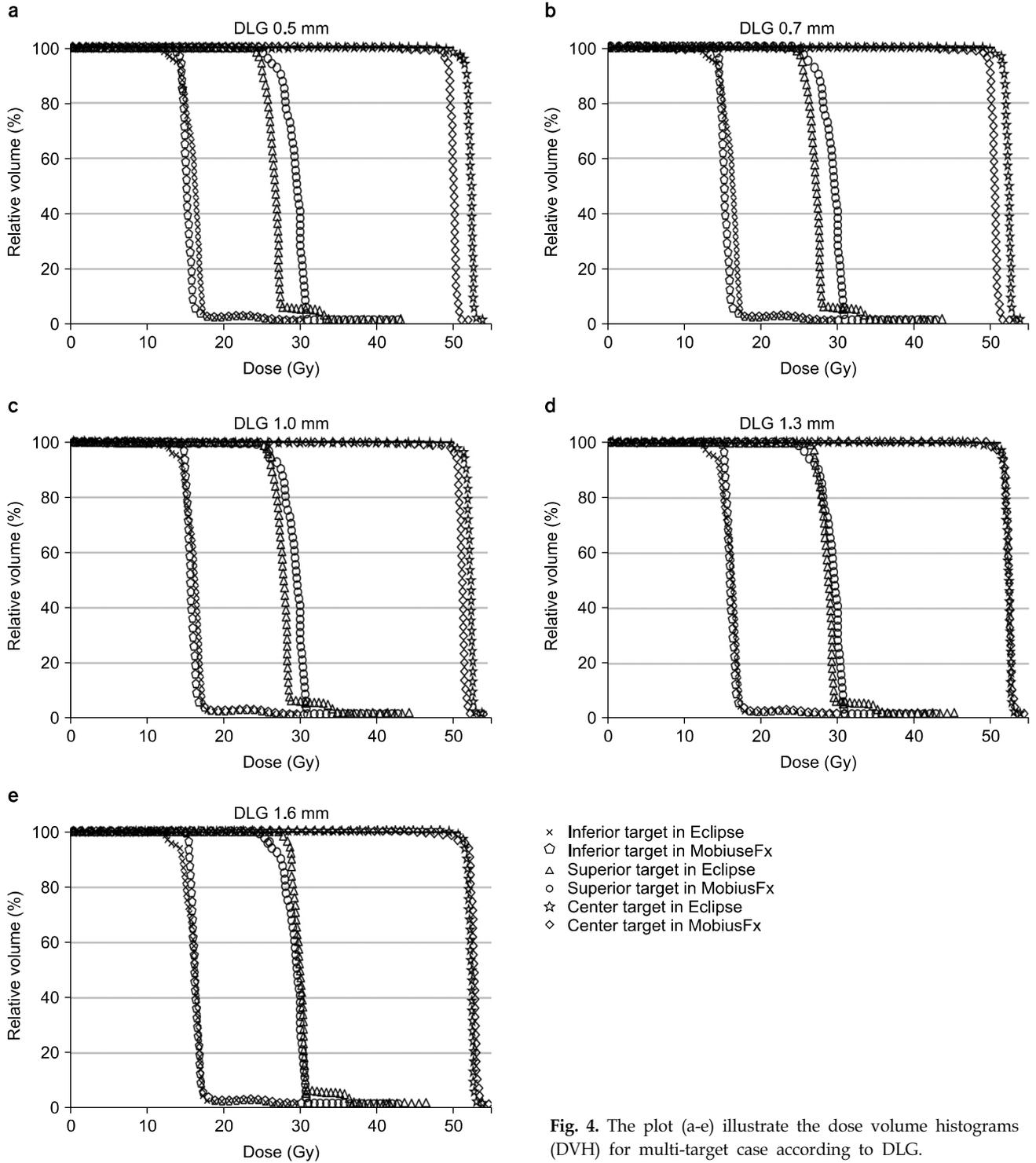


Fig. 4. The plot (a-e) illustrate the dose volume histograms (DVH) for multi-target case according to DLG.

이상의 통과율을 보였다. 전립선은 대체로 90%이상의 통과율을 나타냈으나, PTV의 0.5 mm에서 81.7%로 나타났다. 두경부는 좌-우측 귀밑샘의 모든 DLG에서 100%의 통과율을 확인하였고, PTV는 1.0, 1.3, 1.6 mm에서 99% 이상이었으며, 0.5 mm에서 40.5%로 다른 DLG에 비해 매우 낮은 통과율을 보였다. 척수는 1.0, 1.3, 1.6 mm가 95% 이상, 다른 DLG는 80% 미만이었다(Fig. 3). 마지막으로 C-모양은 코어에서 모든 DLG의 통과율이 100%이었고, PTV는 1.0, 1.3 mm에서 90% 이상으로 나타났으며 그 외의 DLG에서는 86% 미만의 통과율을 확인하였다.

4. 선량부피히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH) 분석

Eclipse 치료계획시스템에서 획득한 각 경우별 DVH를 기준으로 MobiusFx에서 DLG에 따른 DVH를 비교 분석한 결과, 모든 경우에서 DLG마다 서로 다른 DVH 곡선을 나타냈다. Fig. 4는 다중표적 경우에서의 DLG에 따른 DVH 변화를 보여주며, 중앙 표적은 1.3 mm, 상위와 하위표적은 1.6 mm에서 가장 유사함을 확인하였다. 각 경우별 PTV 또는 중앙 표적에서 $D_{95\%}$ 의 차이를 확인한 결과, 모두 공통적으로 DLG 1.3 mm와 1.6 mm에서 1% 미만의 차이를 보였고, DLG 0.5, 0.7 mm에서 3% 이상으로 나타났다(Table 3).

고 찰

본 연구는 IMRT 정도관리시스템인 MobiusFx를 이용하여 치료계획시스템에서 획득한 치료계획과 선량분포를 기준으로 MLC의 DLG에 따른 IMRT 정도관리시스템의 효용성을 평가하고자 하였다.

MLC의 DLG는 필름, 배열형 검출기, 이온전리함 등을 이용하여 측정되어 지고 있지만,^{5,11-14)} 아직 DLG 측정에 대해 권고되고 있는 전리함이 없다. 그러므로 본 연구에서는 방사선치료기의 인수검사절차(acceptance test procedure, ATP)와 빔 사용준비(beam commissioning)에서 사용된 유효 부피가 0.13 cc인 CC13 전리함으로 사용하였으며 이때 측정된 DLG 0.72 mm를 Eclipse 치료계획시스템에 입력하여 사용하였다. 각 방사선치료장비별 MLC에 대한 최적화된 DLG를 측정하기 위해 향후에 DLG 측정 방법 및 값들에 대한 논의가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

MobiusFx와 Eclipse 치료계획시스템 간의 점선량 차이가 DLG 1.0, 1.3, 1.6 mm에서 C-모양을 제외하고 3% 이내의 차이를 보였으며, 또한 같은 DLG 값에 따른 4가지의 가상 팬톰의 중앙 표적 또는 PTV에 대한 3차원 감마지표에서도 95% 이상의 통과율을 보였다. 하지만, 다중표적의 경우 점

Table 3. Difference of $D_{95\%}$ between Eclipse and MobiusFx.

Case	Structure	$D_{95\%}$ difference with Eclipse (%)				
		0.5 mm	0.7 mm	1.0 mm	1.3 mm	1.6 mm
Multi-target	Center target	4.1	3.5	2.1	0.6	0.8
Prostate	PTV	4.7	3.9	2.6	1.1	0.1
Head & Neck	PTV	4.7	3.5	2.2	0.2	1.0
C-shape	PTV	8.6	6.4	2.1	0.7	2.9

Table 4. The difference of mean dose calculated for OARs in MobisuFx according to DLG compared with Eclipse RTP system.

Case	Structure	Mean dose difference with Eclipse (%)				
		0.5 mm	0.7 mm	1.0 mm	1.3 mm	1.6 mm
Multi-target	Superior	-8.23	-6.60	-4.05	-0.76	2.01
	Inferior	-4.31	-3.21	-1.30	0.76	2.17
Prostate	Rectum	-6.55	-5.04	-2.44	0.52	2.43
	Bladder	-5.01	-3.68	-1.37	2.35	4.10
Head & Neck	Cord	-11.75	-9.76	-6.53	-2.51	0.26
	Rt-parotid	-9.49	-7.71	-4.53	-0.37	2.15
	Lt-parotid	-10.57	-8.67	-5.38	-1.34	1.31
C-shape	Core	-9.57	-7.44	-3.26	1.78	5.29

선량의 차이가 3% 이내임에도 상위표적(Superior)에서의 감마지표 통과율은 61%로 낮은 통과율이 보였다. 이는 부위별 또는 처방선량 및 장기별 허용선량 차이로 인해 치료계획이 달라졌기 때문이라고 판단되며, 이를 통해 점선량 비교를 통한 방사선치료기에 대한 정도관리시스템의 검증이 불충분함을 확인할 수 있었다. 또한 감마지표 통과율을 가상 팬텀별, 장기별로 비교하였을 때, Table 2에서 알 수 있듯이 PTV 또는 중앙 표적은 DLG가 작을수록 통과율이 낮아지는 반면에 주변 장기들은 몇몇 장기들을 제외하고 대부분의 장기에 대한 통과율은 99% 이상의 값을 보였다. 이는 처방선량에 비해 상대적으로 낮은 선량을 갖는 주변 장기들이 DLG 변화에 의한 영향이 적음을 나타낸다고 할 수 있다.

MobiusFx에 입력한 5가지의 DLG 간의 간격에 변화 정도를 분석하였을 때, 점선량의 경우 0.2~0.3 mm의 DLG 값의 변화에 의한 선량은 대체로 2% 이내의 차이를 보인 반면, 감마지표 통과율은 최대 69.1%까지 변화하였고 Table 4에서 주변 장기에서 D_{mean} 의 선량 차이에 대하여 DLG 간의 간격에 따라 최대 5.44%의 선량 차이를 확인하였다. 즉, 이는 0.2~0.3 mm 정도의 잘못된 DLG 값을 이용하여 정도관리시스템의 빔 모델링을 통해 환자별 정도관리를 시행하게 되면, 잘못된 정보를 야기할 수 있음을 의미한다. 또한, 다중표적의 상위표적과 두경부의 척수를 제외한 주변 장기마다 모든 DLG에서 99% 이상의 높은 감마지표 통과율을 보이는 반면에 Fig. 4와 같이 DVH에서는 1.3과 1.6 mm를 제외하고 DLG가 작아질수록 MobiusFx와 Eclipse 치료계획시스템 간의 DVH 차이가 점차 커짐을 확인할 수 있었다. 이는 IMRT 정도관리에서 DVH와 3차원 감마지표 통과율의 효용성을 비교 분석한 Zhen 등의 연구에서 결과와 같이 감마지표 통과율은 관심 장기마다의 유효 선량 인자에 대하여 적은 상관관계를 보이며, 상용화된 DVH 기반 정도관리시스템에서 획득한 DVH는 임상에서의 여러 유효 인자들의 오차도 고려하기 때문에 환자의 치료계획에 대하여 의미 있는 역할을 수행한다고 언급하였다.¹⁵⁾ 결과를 토대로 실제 측정된 DLG 값이 0.72 mm임에도 불구하고 MobiusFx는 DLG 1.3, 1.6 mm에서 선량학적으로 가장 유사함을 보였다. 이는 Mobius사에서 빔 모델링 시 Eclipse 치료계획시스템에서 요구하는 다양한 빔 데이터 대신 해당 방사선치료기의 DLG와 깊이선량백분율(percent depth dose, PDD)의 조사면(5×5, 10×10, 20×20 cm²)와 깊이(5, 15, 25 cm), 선속 측방분포(beam profile)의 조사면, 그리고 축외선량비(off-axis ratios, OARs)의 축외점(1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20 cm) 그리고 출력계수(output factor)의 조사면(1×1, 2×2, 5×5, 7.5×7.5,

10×10, 15×15, 20×20 cm²) 등의 제한적인 데이터만을 입력하도록 되어 있으며, 또한 MLC 투과계수(transmission factor)는 고려하지 않아 생기는 차이로 판단된다.

DLG 1.3, 1.6 mm에 대한 점선량, 감마지표 통과율 그리고 DVH에 대한 선량분석에서 MobiusFx와 Eclipse 치료계획시스템이 서로 유사함을 확인하였지만, DLG 1.6 mm에서 C-모양의 점선량에서 4%이상, PTV의 감마지표 통과율이 64.4%, $D_{95\%}$ 가 2.9% 그리고 코어의 D_{mean} 이 5.29% 차이를 보였다. 따라서 실제 측정된 DLG 값인 0.72 mm와 가장 유사한 MobiusFx의 DLG는 1.3 mm라고 판단됨으로써 반드시 사전에 여러 검증 팬텀을 사용하여 정도관리시스템의 합당한 DLG를 확인해야 한다.

결 론

본 연구는 MobiusFx에서 획득한 DLG 마다의 선량 분포를 Eclipse와 비교함으로써 IMRT 정도관리시스템에 대한 효용성을 평가하였다. 4가지의 가상 팬텀에 대한 치료계획에서 DLG에 따른 점선량, 3차원 감마지표 통과율 그리고 DVH에 대하여 분석한 결과, 점선량의 차이가 3% 이내의 값을 갖는 DLG임에도 불구하고 감마지표 통과율 및 DVH를 바탕으로 차이를 비교하였을 때 95% 통과율 보다 낮은 통과율을 보임으로써 점선량 차이의 비교만으로 정도관리시스템을 검증하기에는 불충분함을 확인하였다. 그러므로, 치료계획 정도관리시스템에 대한 검증을 하기 위해서는 감마지표 통과율 또는 DVH를 같이 비교 분석할 필요가 있다고 생각된다. 또한, 방사선치료계획시스템과 같이 빔 모델링을 통한 환자별 정도관리를 수행하는 정도관리 시스템의 경우 다양한 가상 팬텀을 이용한 검증방법을 통해서 방사선치료기와 치료계획 정도관리시스템 간에 알맞은 DLG 검증을 수행하여야 하며, 각 치료기별로 주기적으로 MLC DLG 값을 점검하여 그 변화를 치료계획시스템과 정도관리시스템에 적용하여 환자별 정도관리를 수행해야 할 것으로 사료된다.

References

1. Lee L, Le QT, Xing L: Retrospective IMRT dose reconstruction based on cone-beam CT and MLC log-file. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 70:634-644 (2008)
2. Han YY: Review on the Pre-treatment Quality assurance for intensity modulated radiation therapy. *Progress in MEDICAL PHYSICS* 24(4):213-219 (2013)
3. Park SY, Park YK, Park JM et al: MU Fluence re-

- construction based-on delivered leaf position for IMRT quality assurance. *JOURNAL OF RADIATION PROTECTION* 38(1):28-34 (2011)
4. **Graves MN, Thompson AV, Martel MK et al:** Calibration and quality assurance for rounded leaf-end MLC systems. *Med Phys* 28(11):2227-2233 (2001)
 5. **Lee JW, Choi KS, Hong S et al:** Effects of static dosimetric leaf gap on MLC-based small beam dose distribution for intensity-modulated radiosurgery. *J Appl Clin Med Phys* 8(4): 54-65 (2007)
 6. **Kielar KN, Mok E, Hsu A et al:** Verification of dosimetric accuracy on the TrueBeam STx: Rounded leaf effect of the high definition MLC. *Med Phys* 39(10):6360-6371 (2012)
 7. **Varian Medical Systems:** dosimetric leaf gap Measurement Guide.
 8. **Klein EE, Hanley J, Bayouth J et al:** Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. *Med Phys* 36(9): 4197-4212 (2009)
 9. **Rangel A and Dunscombe P:** Tolerances on MLC leaf position accuracy for IMRT delivery with a dynamic MLC. *Med Phys* 36(7): 3304-3309 (2009)
 10. **Ezzell GA, Buumeister 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)
 11. **Fontenot JD:** Evaluation of a novel secondary check tool for intensity modulated radiotherapy treatment planning. *J Appl Clin Med Phys* 15(5):207-215 (2014)
 12. **Mei X, Nygren I, Villarreal-Barajas JE:** On the use of the MLC dosimetric leaf gap as a quality control tool for accurate dynamic IMRT delivery, *Med Phys* 38(4):2246-2255 (2011)
 13. **Kayla NK, Ed M, Annie H et al:** Verification of dosimetric accuracy on the TrueBeam STx_Rounded leaf effect of the high definition MLC, *Med Phys* 39(10):6360-6370 (2012)
 14. **LoSasso T, Chui CS, Ling C:** Physical and dosimetric aspects of a multileaf collimation system used in the dynamic mode for implementing intensity modulated radiotherapy, *Med Phys* 25(10):1919-1927 (1998)
 15. **Zhen H, Nelms BE, Tome WA et al:** Moving from gamma passing rates to patient DVH-based QA metrics in pretreatment dose QA, *Med Phys* 38(10):5447-5489 (2011)

다엽콜리메이터의 선량학적업간격에 따른 치료계획 정도관리시스템의 효용성 평가

*과학기술연합대학원대학교 방사선종양의과학, †한국원자력의학원 방사선치료연구부,
‡한국원자력의학원 방사선종양학과, §순천향대학교 천안병원 방사선종양학과

이순성*[†] · 최상현[‡] · 민철기[§] · 김우철[§] · 지영훈*[‡] · 박승우[†]
정해조*[‡] · 김미숙*[‡] · 유형준[‡] · 김금배*[‡]

세기조절방사선치료(IMRT)는 복잡하고 정교한 방사선치료 기법을 이용한 환자 치료 시 치료계획의 정확성을 평가하기 위해 첫 치료 시작 전 품질관리를 권고하고 있다. 이 목적 실현을 위해 최근 상용화된 품질관리 소프트웨어를 이용하면 치료 전후의 정확한 방사선량의 전달을 확인할 수 있다. 이에 본 연구에서는 품질관리 시스템 내에 MLC의 선량학적업간격(DLG)의 변화에 따른 IMRT 치료계획 경우별 계산 결과의 분석을 통해 그 효용성을 평가하고자 한다. MobiusFx에 입력할 MLC 다이내로그 파일(Dynamic MLC Log File)을 획득하기 위하여 HD120 MLC가 장착된 Novalis Tx를 이용하였다. IMRT 치료계획을 수립하기 위해 Eclipse 치료계획시스템을 사용하였으며, IBA사의 ImRT 팬텀영상에 표적 및 장기 윤곽(다중표적, 전립선, 두경부, C-모양)을 묘사하였다. DLG에 따른 선량분포의 변화를 확인하기 위해서 MLC 다이내로그 파일을 MobiusFx 시스템에 입력하고 각 경우마다 0.5, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6 mm로 DLG를 변화시켜 선량계산의 차이를 평가하였다. 선량평가는 허용범위가 3%/3 mm인 3차원 감마지표의 통과율과 DVH 그리고 CC13 전리함에 대한 점선량을 통해 분석하였다. MobiusFx에서 4가지의 경우에 대해 각 DLG 마다의 선량분포를 비교 분석한 결과, 다중표적과 두경부는 DLG가 0.5와 0.7 mm에서 3~5%, 1.0~1.6 mm에서 3% 미만의 선량차이를 보였다. 감마 지수 통과율에서도 0.7 mm 이하의 DLG에서 다중표적 경우의 중앙표적과 상위표적은 30% 미만, PTV와 척수는 81% 미만이었으며, 다른 DLG에서는 95% 이상의 통과율을 보였다. 하위표적과 귀밀샘은 모든 DLG에서 100.0%이었다. 전립선에서 점선량은 모든 DLG에서 3% 미만의 차이를 보였으나 PTV에서 DLG 0.7 mm 이하와 1.0 mm 이상에서는 각각 95% 미만과 98% 이상의 통과율을 보였다. 직장과 방광은 모든 DLG에서 100.0%로 나타났다. C-모양에서 점선량은 1.3 mm를 제외한 모든 DLG에서 3~9%의 차이를 보이며 PTV는 1.0과 1.3 mm의 DLG에서 각각 96.7, 93.0%의 통과율을 보였으나 다른 DLG에서는 86% 미만이었다. 코어에서는 모든 DLG에서 100.0%였다. 본 연구에서는 치료계획 품질관리 시스템에서 DLG 적용 값의 차이에 따라 품질관리의 정확성에 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 그러므로 IMRT, VMAT 등 MLC의 움직임을 이용한 방사선치료법의 경우 정확한 품질관리를 위해서는 사용하고 있는 치료장비 및 치료계획시스템에 맞는 적합한 DLG 값을 상호 일치시켜 사용해야 할 것으로 판단된다.

중심단어: 다엽콜리메이터, 세기조절방사선치료, TG-119 보고서, 선량학적업간격, MobiusFx