

MLC 로그 파일 기반 DQA에서 타겟 용적에 따른 영향 연구

연세암병원 방사선종양학과

신동진·정동민·조강철·김지훈·윤종원·조정희

목적: 본 연구의 목적은 타겟 용적의 변화에 따라 MLC 로그 파일 기반 소프트웨어(Mobius)와 기존의 팬텀-전리함(ArcCheck) 선량 검증 방법 간에 차이를 비교 분석하는데 목적이 있다.

대상 및 방법: 반지름이 0.25cm, 0.5cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, 8cm, 9cm, 10cm까지 총 12개의 球(구) 모양 타겟이 있는 플랜을 생성하고 Mobius와 ArcCheck을 사용한 선량 검증을 각각 3번씩 실시하였다. 조사된 데이터를 점선량 오차값과 감마 통과율(3%/3mm)을 평가지표로 하여 비교 분석하였다.

결과: Mobius의 점선량 오차값은 반지름 0.25cm에서 -9.87%, 0.5cm에서 -4.39%로 나타났고, 나머지 타겟 용적에서 오차값은 3% 이내로 나타났다. 감마 통과율은 반지름 9cm에서 95%, 10cm에서 93.9%로 나타났고, 나머지 타겟 용적에서는 95% 이상의 통과율을 보였다. ArcCheck에서 점선량 평균 오차값은 모든 타겟 용적에서 2% 내외의 일치율을 보였다. 감마 통과율 역시 모든 타겟 용적에서 98% 이상의 통과율을 보였다.

결론: 반지름 0.5cm 이하의 작은 타겟이나 반지름 9cm 이상의 큰 타겟에서는 MLC 로그 파일 기반 DQA의 불확실성을 고려하여, 팬텀-전리함 기반 DQA를 상호 보완해서 사용함으로써 점선량, 감마 지표, DVH, 타겟 포함 등의 종합적인 분석으로 선량 전달 검증을 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

▶ **핵심용어:** 타겟 용적, Mobius, ArcCheck, DQA(Delivery Quality Assurance), 점선량, 감마 통과

서론

용적 세기 조절 회전치료(Volumetric-modulated Arc Therapy ; VMAT)는 방사선을 종양에 전달하는 효과적이고 복잡한 기술이다. VMAT은 선량률, 갠트리 속도 및 다엽콜리메이터(Multi Leaf Collimator ; MLC) 모양의 정확한 조합을 사용해야 하고, 이러한 복잡성으로 인해 강력한 성능의 검증 시스템을 필요로 한다.⁽¹⁾ 임상에서 주로 사용되어 온 선량 전달 검증(Delivery Quality Assurance ; DQA)은 전리함을 사용한 절대 선량 측정과 팬텀을 이

용한 2차원 선량 분포의 감마 지표(gamma index) 분석을 시행한다. 하지만 이 방법은 국소영역의 정확성만을 대표하는 한계점이 있기 때문에 다수의 DQA 관련 연구에서 치료계획에 대한 전반적인 선량-부피 히스토그램(Dose-Volume Histogram ; DVH) 분석이 요구된다는 보고가 있다.^(2,3,4)

최근 모비우스(Mobius, Varian Medical System, Palo Alto, CA)사에서 정도 관리 소프트웨어 M3D(Mobius 3D system)와 MFX(Mobius FX system)를 출시했다. 이는 치료계획 DICOM 파일과 동적 다엽콜리메이터 로그파일(dynamic multi leaf collimator log file)을 이용하고 독립적인 알고리즘으로 선량 분포를 재구성한 후 원래의 치료계획과 선량 분포(dose distribution), 타겟 포함(target coverage), 선량-부피 히스토그램, 감마 지표 등으로 비

책임저자: 신동진, 연세암병원
서울시 서대문구 연세로 50-1
Tel: 02)2228-4345
E-mail: apple0360@yuhs.ac

교 분석하여 VMAT 환자의 치료계획에 대한 정도 관리와 선량 전달에 관한 정도 관리를 치료 전, 중, 후에 수행할 수 있는 장점이 있다.^(5,6) 하지만 MLC 로그 파일 기반 DQA에서 PTV 크기에 따라 감마 통과율(gamma pass rate)에 차이가 있다는 보고가 있다.⁽⁷⁾

이에 본 연구에서는 Mobius 시스템의 타깃 용적에 따른 점선량과 감마 통과율의 차이를 기존의 팬텀-전리함(ArcCheck) 선량 검증 방법과 비교하여 측정, 분석하였다.

재료 및 방법

1. 다양한 용적의 타깃으로 플랜 생성

TPS(RayStation v5.0, RaySearch, SWE)를 사용하여 총 12개 球(구) 모양 타깃 전체에 처방선량 2Gy를 채워 생성한다(반지름 0.25cm, 0.5cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, 8cm, 9cm, 10cm). 각각의 타깃 내에 점선량(point dose) 측정을 위해 [Fig. 1.]과 같이 x, y축에 등간격으로 반지름 0.25cm의 ROI(region of interest)를 설정한다. 본원에서 사용 중인 A1SL chamber의 용적 0.057cm³와 일치시키기 위해 ROI 반지름을 0.25cm로 설정하였다(Fig. 1).

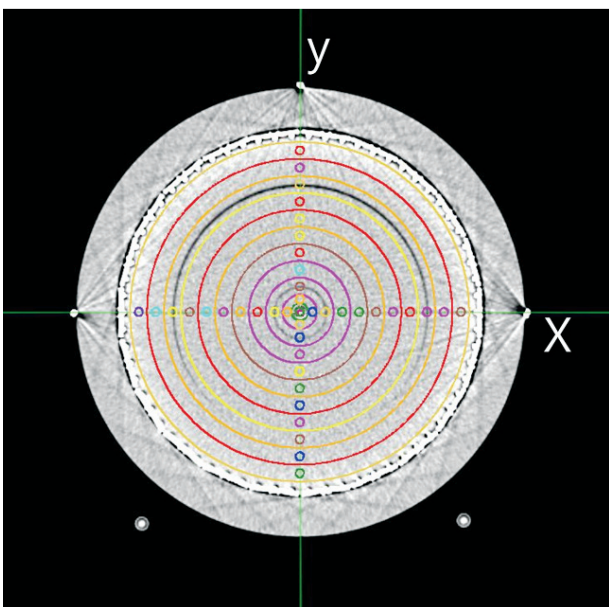


Fig. 1. Plan with ROI set for point dose measurement



Fig. 2. Linear accelerator with phantom and ion chamber installed

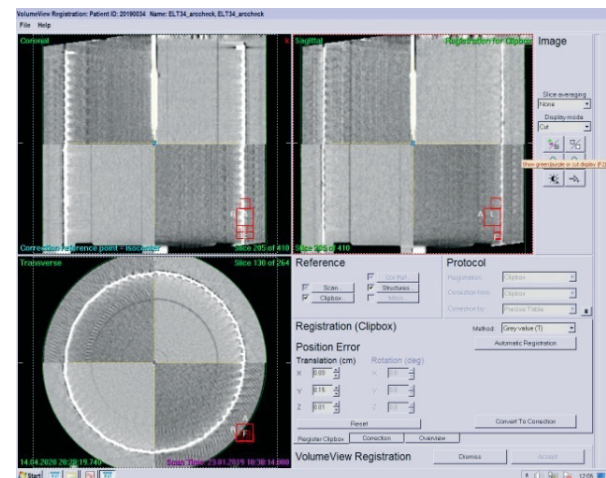


Fig. 3. Position correction using CBCT

2. 선량 전달

본원에서 사용 중인 선형가속기(Linear Accelerator, Versa-HD, Elekta, SWE)를 사용하여 DQA 전용 팬텀(ArcCheck ; Sun Nuclear, USA)과 팬텀 iso-center에 Ion chamber(A1SL ; EXRADIN, Standard Imaging, USA)를 그림과 같이 설치하고 콘빔전산화단층촬영(Cone Beam Computed Tomography ; CBCT)을 이용하여 영상을 획득한다(Fig. 2). 정확한 빔 조사를 위해 획득한 영상을 바탕으로 기존 CT image와 정합 후 couch 위치를 보정한다(Fig. 3). 그 후 총 12개의 타깃에 각각 2Gy 선량을 조사하며, 이 과정을 3회 반복 시행한다.

Target Coverage										
TPS Name	Mean Dose				90% Coverage					
	TPS	M3D	Delivered	% Diff	TPS	M3D	Delivered	% Diff	TPS	% Diff
measure_0_5	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.14%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.11%	2.02 Gy	
measure_10_1	0.84 Gy	0.83 Gy	0.83 Gy	-0.32%	0.82 Gy	0.81 Gy	0.81 Gy	-0.65%	0.82 Gy	
measure_10_2	1.08 Gy	1.06 Gy	1.06 Gy	-0.69%	1.06 Gy	1.04 Gy	1.04 Gy	-0.9%	1.06 Gy	
measure_10_3	0.9 Gy	0.89 Gy	0.89 Gy	-0.23%	0.88 Gy	0.88 Gy	0.88 Gy	-0.39%	0.88 Gy	
measure_10_4	0.96 Gy	0.95 Gy	0.94 Gy	-0.8%	0.94 Gy	0.93 Gy	0.92 Gy	-1.04%	0.94 Gy	
measure_1_1	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.15%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.13%	2.02 Gy	
measure_1_2	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.11%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.08%	2.02 Gy	
measure_1_3	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	0.04%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	0.02%	2.02 Gy	
measure_1_4	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.07%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.11%	2.02 Gy	
measure_2_1	2.03 Gy	2.03 Gy	2.02 Gy	-0.14%	2.02 Gy	2.03 Gy	2.02 Gy	-0.14%	2.02 Gy	
measure_2_2	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.04%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.07%	2.02 Gy	
measure_2_3	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	0.09%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	0.11%	2.02 Gy	
measure_2_4	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	0%	2.02 Gy	2.02 Gy	2.02 Gy	-0.05%	2.02 Gy	
measure_3_1	2.03 Gy	2.03 Gy	2.03 Gy	-0.07%	2.03 Gy	2.03 Gy	2.03 Gy	-0.04%	2.03 Gy	

Fig. 4. Point dose and target coverage of ROI in Mobius

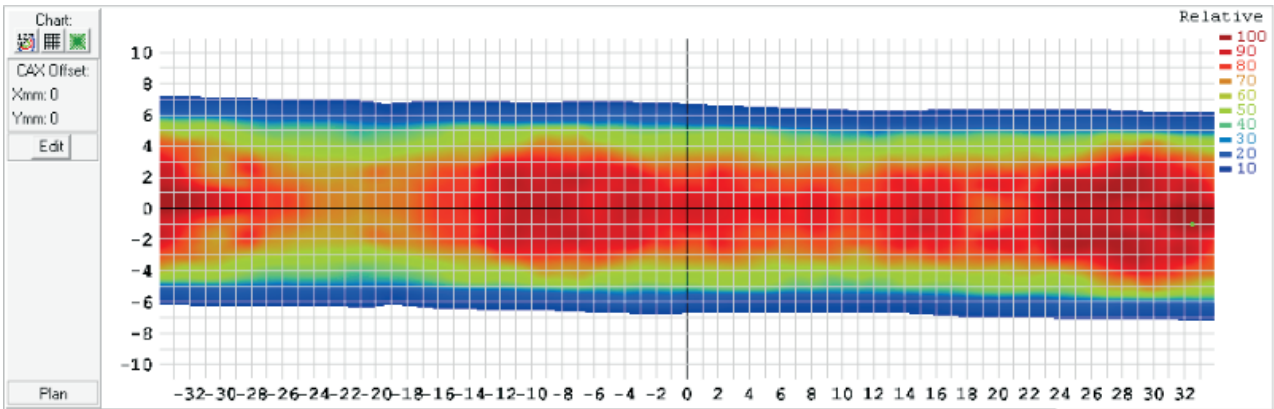


Fig. 5. Analysis of gamma index using SNC-patient in ArcCheck

3. 평가 지표

1) 점선량(point dose) 오차 비교

TPS에 측정된 점선량을 기준으로 Mobius ROI에 측정된 점선량, ArcCheck iso-center의 A1SL에 측정된 점선량의 오차값을 비교한다(Fig. 4). AAPM의 TG 119 기준에 따라 측정된 점선량과 계획한 점선량과의 차이가 $\pm 3\%$ 이

내로 권고하는 것을 적용하였다.

2) 감마 통과율(3%/3mm) 비교

Mobius에서의 감마 통과율과 SNC Patient(Sun Nuclear, USA) 프로그램을 사용하여 ArcCheck의 감마 통과율을 비교한다(Fig. 5). AAPM의 TG 119 기준에 따라 3%/3mm의 허용오차의 한계에 감마 통과율 95%를 적용

하였다.

3) 통계 분석

TPS로 계산된 점선량과 측정된 점선량의 상관관계를 분석하기 위해 스피어만 상관 분석(Spearman Correlation Coefficient; rho)을 시행하였고, Mobius와 ArcCheck 통과율의 차이를 검정하기 위해 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 시행하였다. 이때 신뢰할 수 있는 결과는 기준대비 3% 이내의 측정값으로 규정

하였으며, 통계적 유의 수준은 95% 신뢰 수준을 적용하였다. 통계 분석 프로그램은 SPSS 20.0을 사용하였다.

결 과

1. 점선량 오차

Mobius와 ArcCheck에서 반지름 크기에 따른 점선량 오차율의 평균을 [Table 1, 2]에 기술하였다. Table 1에서 점선량 오차의 평균을 보면 타깃 용적이 작아짐에 따라 오차율이 커짐을 알 수 있었다. Table 2에서 ArcCheck 점선량 오차의 평균을 보면 특별한 경향성을 찾을 수 없었다. Mobius 기준 3% 이상의 오차를 보이는 반지름 0.25cm, 0.5cm를 제외한 10개의 값을 통해 상관 분석을 시행했을 때, ArcCheck와 Mobius의 기준 선량 대비 점선량 간의 상관계수는 각각 $R = 0.812$, -0.315 로 나타났다($p < 0.05$).

Table 1. Mobius point dose error

반지름	1 fx	2 fx	3 fx	평균
0.25cm	-9.87%	-9.87%	-9.87%	-9.87%
0.5cm	-4.39%	-4.39%	-4.39%	-4.39%
1cm	-2.04%	-2.04%	-2.04%	-2.04%
2cm	-0.60%	-0.60%	-0.60%	-0.60%
3cm	-0.69%	-0.69%	-0.69%	-0.69%
4cm	-0.75%	-0.75%	-0.75%	-0.75%
5cm	-0.14%	-0.14%	-0.99%	-0.42%
6cm	0.09%	-0.01%	-0.37%	-0.10%
7cm	-0.42%	-0.37%	-0.82%	-0.54%
8cm	-0.65%	-0.71%	-1.05%	-0.80%
9cm	-0.39%	-0.30%	-0.80%	-0.50%
10cm	-0.36%	-0.50%	-0.50%	-0.45%

2. 감마 통과율(3%/3mm)

Mobius와 ArcCheck에서 반지름 크기에 따른 감마 통과율의 평균을 [Table 3, 4]에 기술하였다. Table 3에서 Mobius 감마 통과율을 보면 타깃의 용적이 커짐에 따라 통과율이 낮아지는 경향이 있음을 알 수 있었다. 하지만 Table 4에서 ArcCheck 감마 통과율은 타깃 용적에 따라 특별한 경향성을 찾을 수 없었다. Mobius 기준 3% 이상의

Table 2. ArcCheck point dose error

반지름	1 fx	2 fx	3 fx	평균
0.25cm	-1.56%	-0.40%	-0.15%	-0.60%
0.5cm	-1.93%	-1.93%	-1.14%	-1.67%
1cm	-1.92%	-2.12%	-1.28%	-1.77%
2cm	-1.18%	-1.38%	-0.49%	-1.02%
3cm	-0.94%	-0.99%	-0.25%	-0.73%
4cm	-1.14%	-1.19%	-0.50%	-0.94%
5cm	-1.24%	-1.14%	-0.40%	-0.93%
6cm	-1.14%	-1.19%	-0.45%	-0.93%
7cm	-1.44%	-1.49%	-0.69%	-1.21%
8cm	-1.53%	-1.49%	-0.69%	-1.24%
9cm	-1.58%	-1.58%	-0.74%	-1.30%
10cm	-2.04%	-2.04%	-1.34%	-1.81%

Table 3. Mobius gamma(3%/3mm) passing rate

반지름	1 fx	2 fx	3 fx	평균
0.25cm	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
0.5cm	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%
1cm	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
2cm	100.0%	100.0%	100%	100.0%
3cm	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
4cm	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
5cm	99.8%	99.8%	99.7%	99.8%
6cm	99.5%	99.4%	98.4%	99.1%
7cm	99.1%	99.1%	97.7%	98.6%
8cm	97.6%	97.5%	96.2%	97.1%
9cm	95.7%	95.6%	93.6%	95.0%
10cm	94.8%	94.8%	92.1%	93.9%

Table 4. ArcCheck gamma(3%/3mm) passing rate

반지름	1 fx	2 fx	3 fx	평균
0.25cm	98.0%	100.0%	100.0%	99.3%
0.5cm	98.6%	98.6%	99.0%	98.7%
1cm	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%
2cm	99.8%	100.0%	100.0%	99.9%
3cm	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%
4cm	99.7%	100.0%	100.0%	99.9%
5cm	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
6cm	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%
7cm	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
8cm	99.9%	99.9%	100.0%	99.9%
9cm	99.9%	100.0%	99.9%	99.9%
10cm	99.9%	99.9%	99.1%	99.6%

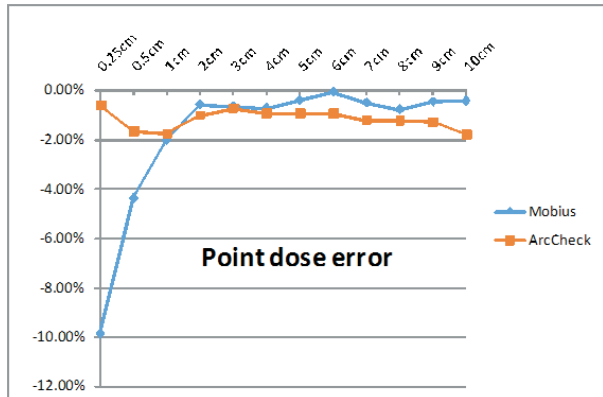


Fig. 6. A graph of the results of point dose errors

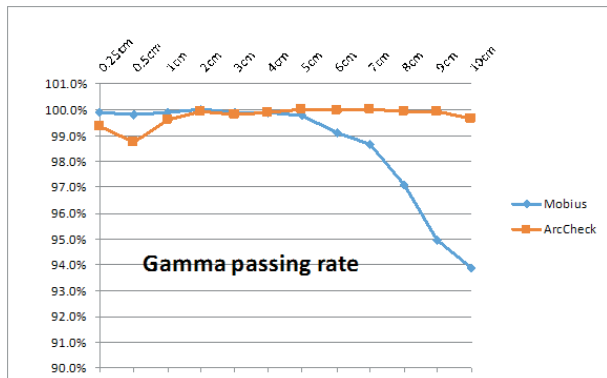


Fig. 7. A graph of the results of gamma passing rate

오차를 보이는 반지름 9cm, 10cm을 제외한 10개의 값을 통해 일곱순 부호 순위 검정을 시행했을 때, ArcCheck과 Mobius는 $Z = -0.153$ 으로 나타났다($p > 0.05$).

ArcCheck에서의 점선량은 별다른 경향성 없이 모든 타깃 용적에서 3% 이내의 점선량 오차율을 보였다. 반면 Mobius에서의 점선량은 반지름 1cm 미만에서 점선량 평균오차가 3% 이상으로 커지는 것을 알 수 있었다(Fig. 6). 또한 ArcCheck에서의 감마 통과율은 모든 타깃 용적에서 95% 이상의 통과율을 보였다. 반면 Mobius에서의 감마 통과율은 반지름 9cm 이상에서 95% 이하의 통과율을 보였다(Fig. 7).

고안 및 결론

MLC 로그 파일을 이용한 DQA 방법은 인수검사(commissioning) 당시의 빔 데이터를 사용하기 때문에 주기적으로 철저한 정도 관리를 시행한다면, 기존의 팬텀 및 전리함을 이용한 방법보다 간소화된 프로세스로 DQA 준비에서 분석하는 과정까지 이루어지는 시간과 노력을 감소시킬 수 있다. 또한 DVH, 타깃 포함 등의 다양한 분석 방법으로 복잡하고 정교해진 치료계획의 사전 검증에 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대할 수 있다.⁽⁹⁾ 하지만 최근 연구에 따르면 조사면(Field size)이 작은 경우에 Mobius 자체의 선량 계산에서 불확실성이 존재하며 MLC tongue-and-groove 효과가 적절하게 고려되지 않았으며 특정 에너지에서 DLG(Dosimetric Leaf Gap) 조정이 필요하다고 보고하였다.^(10,11) 또한 Mobius 창업자 Dr. Childress는 MLC 로그 파일 기반의 소프트웨어가 팬텀-전리함 선량 검증 방법보다 많은 정보들을 제공함으로써 문제의 원인을 파악하는데 도움을 줄 수 있다고 한다. 하지만 Dr. Chen은 MLC 로그 파일 기반의 DQA는 정확성이 불분명하며 로그 파일로는 감지할 수 없는 오차들이 있다고 언급하면서 기존 방법과 서로 보완하여 사용하기를 권고하고 있다.^(12,13,14)

본 연구에서는 MLC 로그 파일 기반 소프트웨어 Mobius와 ArcCheck에서의 타깃 용적에 따른 점선량과 감마 통과율의 영향을 비교, 분석하였으며 점선량의 경우 상관분석을 통해 Arccheck이 Mobius 보다 더 유의한 관계

가 있음을 확인하였으며, 감마 통과율의 경우 월콕슨 부호 순위 검정을 통해 Arccheck과 Mobius 간 유의미한 차이가 없음을 확인하였다. 결론적으로 반지름 1cm 미만의 작은 타겟이나 반지름 9cm 이상의 큰 타겟에서는 MLC 로그 파일 기반 DQA의 불확실성을 고려하여 팬텀-전리함 기반 DQA를 상호 보완해서 사용함으로써 점선량, 감마 지표, DVH, 타겟 포함 등의 종합적인 분석으로 선량 전달 검증 을 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

참고문헌

1. Jonas D, Fontenot: Feasibility of a remote, automated daily delivery verification of volumetric-modulated arc therapy treatments using a commercial record and verify system. JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS 2012;13:114
2. Zhen H, Nelms BE, Tome WA: Moving from gamma passing rates to patient DVH-based QA metrics in pretreatment dose QA. Med Phys 2011;38:5477-5489
3. Nelms BE, Zhen H, Tom WA: Per-beam, planar IMRT QA passing rates do not predict clinically relevant patient dose errors. Med Phys 2011;38:1037-1044
4. Young yih Han: Review on the Pre-treatment Quality Assurance for Intensity Modulated Radiation Therapy. PROGRESS in MEDICAL PHYSICS 2013;24:217-218
5. Dong-Jin Kang, Jae-Yong Jung, Young-Joo Shin, et al: 소프트웨어 기반 정도관리 시스템을 이용한 부피세기 조절회전치료 환자 별 정도관리의 유용성 평가. Journal of Radiological Science and Technology 2018;41:40
6. Gary A, Jay W, Nesrin D, et al.: IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. Med Phys 2009;11:5370-5372
7. Yair Hillman: Refinement of MLC modeling improves commercial QA dosimetry system for SRS and SBRT patient-specific QA. Medical Physics 2018;45:1355
8. 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 2009;36:5359-5373
9. Luis Alberto Vazquez-Quino, Claudia Ivette Huerta-Hernandez, Dharanipathy Rangaraj et al: Clinical Experience with Machine Log File Software for Volumetric-Modulated Arc Therapy Techniques. Journal of Physics 2017;847:276-279
10. Jihun Kim, Min Cheol Han, Eungman Lee, et al: Detailed evaluation of Mobius3D dose calculation accuracy for volumetric modulated arc therapy. Physica Medica 2020;74:125-132
11. C Nelson , M Garcia , E Calderon et al: Validation of Mobius 3D and FX for Elekta Linear Accelerators. Medical Physics 2016;43:3533
12. Childress N, Chen Q, Rong Y. Parallel/Opposed: IMRT QA using treatment log files is superior to conventional measurement-based method. J Appl Clin Med Phys. 2015;16:4-7
13. L. Dewayne , S. Sotirios , E. Joseph et al: Investigation of error detection capabilities of phantom, EPID and MLC log file based IMRT QA methods. Med. Phys. 2017;18:172-179
14. R. Dharanipathy , Z. Mingyao , Y. Deshan et al: Catching errors with patient-specific pretreatment machine log file analysis. Radiat. Oncol. 2013;3:80-90

The Study on the Effect of Target Volume in DQA based on MLC log file

Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center, Seoul, Korea.

Shin Dong Jin, Jung Dong Min, Cho Kang Chul, Kim Ji Hoon, Yoon Jong Won, Cho Jeong Hee

Purpose: The purpose of this study is to compare and analyze the difference between the MLC log file-based software (Mobius) and the conventional phantom-ionization chamber (ArcCheck) dose verification method according to the change of target volume.

Material and method: Radius 0.25 cm, 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, 9 cm, 10 cm with a Sphere-shaped target Twelve plans were created and dose verification using Mobius and ArcCheck was conducted three times each. The irradiated data were compared and analyzed using the point dose error value and the gamma passing rate (3%/3mm) as evaluation indicators.

Result: Mobius point dose error values were -9.87% at a radius of 0.25 cm and -4.39% at 0.5 cm, and the error value was within 3% at the remaining target volume. The gamma passing rate was 95% at a radius of 9 cm and 93.9% at 10 cm, and a passing rate of more than 95% was shown in the remaining target volume. In ArcCheck, the average error value of the point dose was about 2% in all target volumes. The gamma passing rate also showed a pass rate of 98% or more in all target volumes.

Conclusion: For small targets with a radius of 0.5 cm or less or a large target with a radius of 9 cm or more, considering the uncertainty of DQA based on MLC log files, phantom-ionized DQA is used in complementary ways to include point dose, gamma index, DVH, and target coverage. It is believed that it is desirable to verify the dose delivery through a comprehensive analysis.

► **Key words:** target volume, Mobius, ArcCheck, DQA(Delivery Quality Assurance), point dose, gamma passing rate