

전자포탈영상장치(EPID)와 GafChromic EBT3 film을 이용한 다엽콜리메이터 정도관리 시 갠트리 각도 변화에 따른 엽의 위치 정확성 비교 평가

전북대학교 병원 방사선종양학과, 전북대학교 의과대학 방사선종양학과, 전북대학교 병원 의생명연구소*

양명식·, 박주경·, 이승훈·, 이선영*,**, 김정수*,**, 권형철*,**, 김양수·

목 적: 본 연구에서는 EPID와 GafChromic EBT3 film을 이용하여 picket fence test를 시행하여 갠트리 각도에 따른 중력 효과로 인한 다엽콜리메이터의 엽의 위치 오차를 분석하여 정확성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 테이블에 5 cm의 고체 팬텀을 놓고 SAD를 100 cm이 되도록 설정하였다. EBT3 film을 고체 팬텀 위에 정확하게 놓이게 한 후 1.5 cm의 고체 팬텀을 놓고 picket fence test를 시행하였다. EPID는 선원 검출기간 거리 100 cm에서 EBT3 film과 같은 조건으로 측정했다. 갠트리 각도에 따른 다엽콜리메이터 이동 위치를 알아보기 위해 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°에서 각각 측정하였다. 다엽콜리메이터의 기하학적 평가를 위해 분석 프로그램을 이용하여 다엽콜리메이터의 엽의 위치 정확성을 분석하였다.

결 과: EPID의 경우 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°로 갠트리 각도를 변경했을 때 엽의 위치 오차는 각각 평균 0.18 mm, 0.31 mm, 0.20 mm, 0.26 mm였고, 오차의 최댓값은 각각 0.44 mm, 0.54 mm, 0.34 mm, 0.44 mm였다. EBT3 film은 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°로 갠트리 각도를 변경했을 때 엽의 위치 오차는 각각 평균 0.19 mm, 0.21 mm, 0.19 mm, 0.31 mm였고, 오차의 최댓값은 각각 0.35 mm, 0.45 mm, 0.36 mm, 0.48 mm였다.

결 론: 본 연구는 갠트리 각도에 따른 다엽콜리메이터의 엽의 위치 오류를 분석해본 결과 중력효과에 의한 엽의 위치 오류를 확인하였고, EPID와 EBT3 film을 이용하여 갠트리 각도 변화에 따른 엽의 정확성을 비교한 결과 EPID를 이용한 오차 분석방법에서 EBT3 film보다 더 큰 오차가 발생했다. 따라서 다엽콜리메이터를 기반으로 하는 세기조절방사선치료의 경우 정확한 선량 조사에 대한 검증뿐만 아니라 다엽콜리메이터의 정확하고 정밀한 작동에 대한 정도관리와 분석방법에 대한 비교 및 검증이 필요할 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** EPID, EBT3 film, 다엽콜리메이터, 갠트리 각도, 중력효과, 정도관리

서 론

광자선을 이용한 체외 방사선치료는 대표적으로 3차원 입체조형치료(three dimensional radiation therapy,

3D-CRT)와 함께 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy, IMRT)가 사용되고 있다. 세기조절방사선치료는 역방향치료계획(inverse radiation treatment planning)을 기본적으로 적용하게 되고, 선량전달 측면에서 비 균일 플루언스(nonuniform fluence)를 적용하여 최적화된 선량 분포를 얻을 수 있다.⁽¹⁾ 이를 위해서는 선형가속기 내에 다엽콜리메이터(multileaf collimator, MLC)가 필수이다. 다엽콜리메이터는 정적(static

책임저자: 양명식, 전북 전주시 덕진구 건지로 20, 561-712
전북대학교병원 방사선종양학과
Tel. 063) 250-1190
E-mail: 22444@cuh.co.kr

이나 동적(dynamic) 움직임을 통하여 최적화된 플루언스 분포를 생성하게 된다.^(2,3,4,5,6) 이처럼 중앙에 최적화된 선량분포는 다엽콜리메이터에 의하여 형성되기 때문에 결과적으로 다엽콜리메이터의 위치 및 속도의 정확성은 중앙에 전달되는 선량에 큰 영향을 미치게 된다.^(7,8) 미국의학물리학회 Task Group 142 보고서(AAPM TG-142 Report)에서는 방사선치료기기의 정도관리 절차로 다엽콜리메이터의 엽의 위치(leaf position)의 정확성과 엽의 속도(leaf speed), 엽의 간격(leaf gap), 선량률, 다엽콜리메이터의 중력 효과 등을 점검하도록 권고하고 있다.⁽⁹⁾ 다엽콜리메이터에서 독립적인 각 엽(leaf)을 이용하여 치료계획에서 결정된 시퀀스(sequence)에 따라 모든 엽이 유기적으로 위치하게 된다. Bayouth 등⁽¹⁰⁾은 다엽콜리메이터의 위치 잡이(positioning)의 정확성, 정밀성 및 재현성의 중요성을 언급하였고, LoSsaso 등⁽¹¹⁾은 각 엽의 위치 잡이와 투과(transmission) 테스트의 필요성과 함께 다엽콜리메이터에 대한 정도관리를 언급하였다. 또한, 방사선 투과를 이용하여 각 엽사이의 간격을 정량적으로 판별할 수 있는 picket fence test에 대해 설명하였다.^(11,12,13) picket fence test는 흔히 엽의 위치를 확인하는 데 쓰이며, 전자포탈영상장치(electronic portal imaging device, EPID) 이미지나 film 이미지를 통해 엽의 위치 오류를 평가하고 분석할 수 있다.⁽¹²⁾ Rangel 등⁽¹⁴⁾은 두경부 세기조절방사선 치료 계획에서 0.3 mm의 다엽콜리메이터의 위치 차이에 의해 CTV(clinical target volume)가 약 2%의 선량 차이를 보였다고 보고하였다. 또한, Bai 등⁽¹⁵⁾의 연구결과에 따르면, 비 인두암 치료를 위한 세기조절방사선치료 계획에서 0.5 mm, 1 mm 및 2 mm의 systematic 다엽콜리메이터 위치 오류로 인해 4.63%, 8.69% 및 18.32%의 선량 차이가 발생했다. 따라서 정확한 다엽콜리메이터의 엽의 위치 설정과 정도관리가 반드시 이루어져야 한다. Lee 등⁽¹⁶⁾의 연구결과에 따르면, 다엽콜리메이터 정도관리 시 중력은 세기조절 방사선치료 선량 분포에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 갠트리 각도에 따른 중력 방향과 sliding window 기법에 따라 더 큰 오류가 나타난다고 보고 하였다. Iori SUMIDA 등⁽¹⁷⁾은 Garden fence test에서 정면 방향인 갠트리 각도 0°에서 모든 엽의 위치 오차가 평균 0.04 mm로 나타났다. 하지만 측면 방향인 갠트리 각도 90°와 270°의

경우는 각각 0.24 mm와 0.20 mm로 상대적으로 큰 차이를 보였다. Marzena 등⁽¹⁸⁾은 입체 세기조절 회전 방사선치료(volumetric modulated arc therapy, VMAT)에서 갠트리 회전에 따른 다엽콜리메이터 처짐 현상은 중력에 의해 영향을 받으며, 이러한 처짐 현상 때문에 선량 왜곡으로 이어진다고 설명하였다. 또한, 다엽콜리메이터의 캐리지(carriage) 시스템에 부과된 중력 때문에 엽의 구동능력 문제로 엽의 위치 정확성의 차이가 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 EPID와 GafChromic EBT3 film을 이용하여 picket fence test를 시행하여 갠트리 각도에 따른 중력 효과로 인한 다엽콜리메이터의 엽의 위치 오차를 분석하여 정확성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. GafChromic EBT3 film의 교정

GafChromic EBT3 film(Ashland, USA)의 선량흡수 범위는 1~10 Gy로 100 keV부터 MeV 단위의 에너지에 대하여 선량을 측정할 수 있다. 또한, 가시광선과 온도(<70°C)에 의한 저항력이 높아 쉽게 감광되지 않는 장점이 있다. 하지만 자외선에 민감하며, 방향성을 가져 방사선 조사 방향에 따라 film의 감광 정도가 변할 수 있다. 또한, 한 장 이상의 film을 이용하여 흡수선량을 측정하기 위해서는 film에 따른 보정작업을 수행하여야 하며, 실시간으로 흡수된 선량을 측정할 수 없다는 단점이 있다.⁽¹⁹⁾

GafChromic EBT3 film의 선량 교정을 위해 테이블에 5 cm의 고체 팬텀(Solid water, SP34, IBA, Germany)을 놓고 선원표면 간 거리(source skin distance, SSD)를 100 cm으로 설정하고, 한 장의 film을 3.175×20 cm² 크기로 6장을 잘라 6 MV 광자선으로 각각 0, 50, 100, 200, 300, 400 MU를 10×10 cm² 조사면에 조사하였다. 조사된 모든 film은 24시간 후 EPSON Expression 11000XL(America Inc, USA)을 사용하여 스캔하였고, 스캔 된 선량 교정 film은 선량 분석 시스템 Film QA Pro(5.0.dv, Ashland, USA)를 이용하여 광학 밀도(optical density, OD) 값을 얻어 film의 선량 광학 밀도의 관계를 알아보았다.

2. 전자포탈영상장치(EPID)의 교정

EPID의 영상획득범위는 $30 \times 40 \text{ cm}^2$ 이며, $1,024 \times 768$ 화소로 구성돼 있고, 각 화소의 크기는 $0.039 \times 0.039 \text{ cm}^2$ 이다. 선원 검출기간 거리(source to image receptor distance, SID)를 105 cm으로 설정하고, 측정 전 방사선을 조사하지 않는 상태에서 Dark field를 얻어 화소 내 암 전류를 교정했다. 개별 화소의 감도(반응성) 차이를 교정하기 위해 방사선을 조사하면서 영상획득범위 전체에 대하여 Flood field를 획득하여 보정했다. EPID의 절대 화소 값을 흡수선량으로 변환하기 위해 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 조사면에 100 MU를 조사하여 조사량과 측정값의 교정을 실시했다.

3. EBT3 film을 이용한 picket fence test

다엽콜리메이터의 엽의 위치 정확성을 측정하기 위

해 picket fence test를 실시하였다. MLC SHAPER(6.3, Varian Medical Systems, USA)를 이용하여 picket fence test 용 MLC 치료계획을 만들었다. 다엽콜리메이터 각각의 이동 거리는 좌로 2 cm씩 -6 cm, -4 cm, -2 cm, 0 cm, 2 cm, 4 cm, 6 cm 이동을 하도록 설정하고, gap의 조사면의 크기는 $2 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 가 되도록 설정하였다. 갠트리와 콜리메이터의 기계적 오차를 줄이기 위해 수평계를 이용하여 0° 가 되었는지 확인한 후 Millennium 120 MLC가 장착된 선형가속기 CLINAC iX(Varian Medical Systems, USA)의 테이블에 5 cm의 고체 팬텀을 놓고 선원 중심축 거리(source axis distance, SAD)를 100 cm이 되도록 설정하였다(Fig. 1). EBT3 film을 고체 팬텀 위에 정확하게 놓이게 한 후 1.5 cm의 고체 팬텀을 놓고 7개의 gap 조사면에 6 MV 광자선 100 MU의 선량을 300 MU/

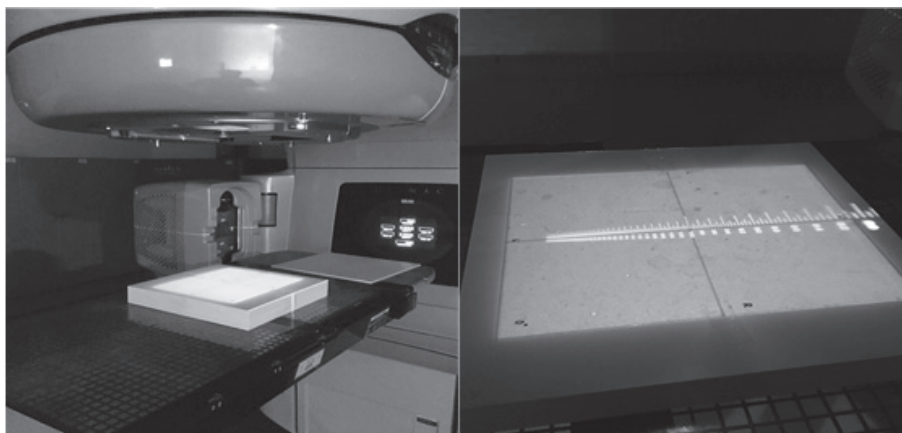


Fig 1. Pictures of the experimental setup for the picket fence test using EBT3 film.

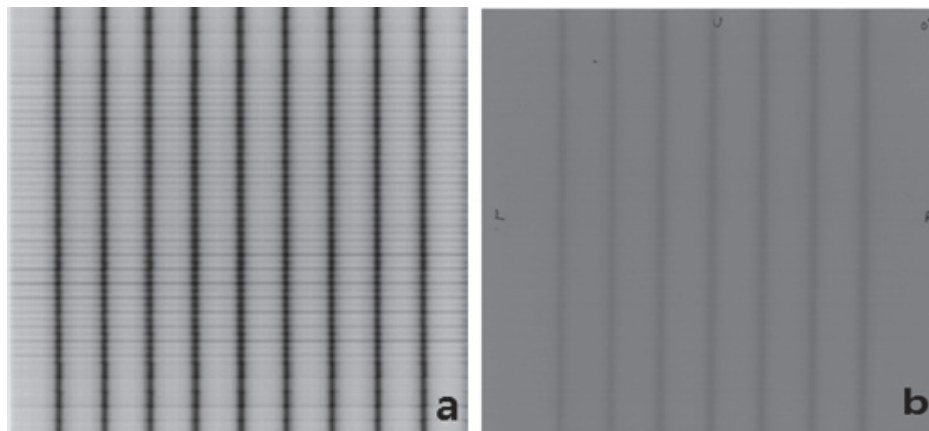


Fig 2. Image of the picket fence test for leaf position accuracy, (a) EPID (b) GafChromic EBT3 film.

min의 선량률로 각각 조사하였다. 갠트리 각도에 따른 다엽콜리메이터 엽의 위치 정확성을 알아보기 위해 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°에서 각각 측정하였다. 분석 프로그램은 다엽콜리메이터의 기하학적 평가를 위한 Film QA Pro(5.0,dv, Ashland, USA)와 Doselab(6.80,dv, Mobius Medical systems, USA)를 통해 다엽콜리메이터의 엽의 위치 정확성을 분석하였다.

4. EPID를 이용한 picket fence test

다엽콜리메이터의 엽의 위치 정확성을 측정하기 위해 picket fence test를 실시하였다. 갠트리와 콜리메이터의 기계적 오차를 줄이기 위해 수평계를 이용하여 0°가 되었는지 확인한 후 EBT3 film과 같은 측정 조건으로 EPID를 이용하여 측정하였다. EPID는 선원 검출기간 거리 100 cm에서 9개의 gap 조사면에 6 MV 광자선 77 MU의 선량을 300 MU/min의 선량률로 각각 조사하였다(Fig. 2). 갠트리 각도에 따른 다엽콜리메이터 엽의 위치 정확성을 알아보기 위해 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°에서 각각 측정하였다. 분석 프로그램은 다엽콜리메이터의 기하학적 평가를 위한 ARTISCAN(4.6.2,dv, AQUILAB, France)과 Doselab(6.80,dv, Mobius Medical systems, USA)을 통해 다엽콜리메이터의 엽의 위치 정확성을 분석하였다.

결 과

1. film의 선량교정

EBT3 film의 선량교정 곡선은 적색 채널로 광학 밀도에 상응하는 선량 값을 계산하였다. 6 MV 광자선에 의한 GafChromic EBT3 film은 0~400 cGy영역에서 우수한

선형성을 보여주었다(Fig. 3).

2. EPID와 EBT3 film을 이용한 picket fence test 결과

EPID의 경우 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°일 때 엽의 위치 오차는 각각 평균 0.18 mm, 0.31 mm, 0.20 mm, 0.26 mm였고, 오차의 최댓값은 각각 0.44 mm, 0.54 mm, 0.34 mm, 0.44 mm였다. EBT3 film은 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°일 때 엽의 위치 오차는 각각 평균 0.19 mm, 0.21 mm, 0.19 mm, 0.31 mm였고, 오차의 최댓값은 각각 0.35 mm, 0.45 mm, 0.36 mm, 0.48 mm였다 (Table 1, Fig. 4).

3. 다엽콜리메이터의 엽의 너비와 엽사이의 거리

다엽콜리메이터의 엽의 너비는 EPID의 경우 갠트리 각도 0°, 90°, 180°, 270°일 때 각각 평균 2.74±0.06 mm, 2.86±0.11 mm, 2.76±0.10 mm, 2.82±0.10 mm였고,

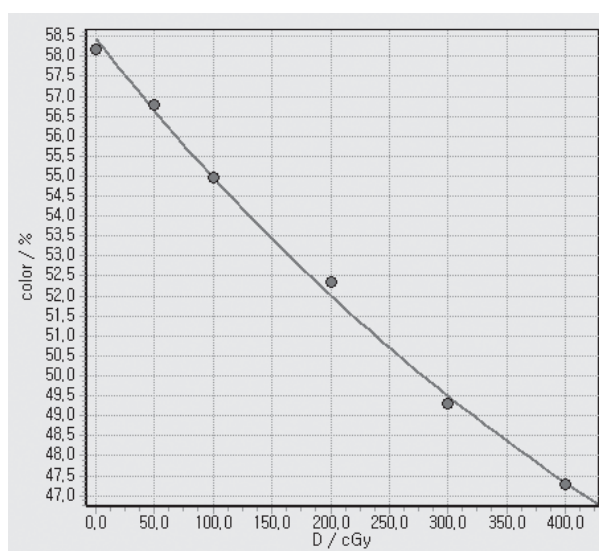


Fig 3. The dose correction curve of GafChromic EBT3 film.

Table 1. The results of the picket fence test using EPID and EBT3 film according to gantry angle variation (Unit : mm)

		Gantry angle				Average
		0°	90°	180°	270°	
EPID	Average of error	0.18	0.31	0.20	0.26	0.24
	Maximum value of error	0.44	0.54	0.34	0.44	0.44
EBT3	Average of error	0.19	0.21	0.19	0.31	0.22
	Maximum value of error	0.35	0.45	0.36	0.48	0.41

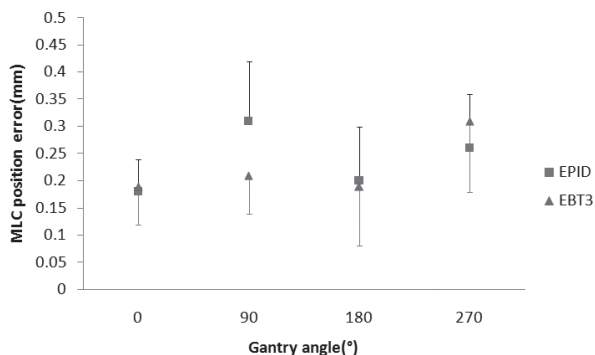


Fig. 4. Setup errors check points using the CBCT.

EBT3 film은 각각 평균 2.69 ± 0.07 mm, 2.71 ± 0.07 mm, 2.69 ± 0.11 mm, 2.81 ± 0.13 mm였다.

다엽콜리메이터의 엽사이의 거리는 EPID의 경우 갠트리 각도 0° , 90° , 180° , 270° 일 때 각각 평균 15.01 ± 0.03 mm, 15.03 ± 0.03 mm, 15.02 ± 0.03 mm, 15.02 ± 0.03 mm였고, EBT3 film은 각각 평균 15.02 ± 0.02 mm, 15.01 ± 0.03 mm, 15.01 ± 0.02 mm, 15.03 ± 0.03 mm였다(Table 2).

고찰 및 결론

EPID와 EBT3 film을 이용하여 picket fence test를 시행하여 갠트리 각도에 따른 다엽콜리메이터의 엽의 위치 오차를 분석해본 결과 EPID를 이용한 분석 방법은 갠트리 각도 90° 에서 0.31 mm로 가장 큰 차이가 나타났고, EBT3 film을 이용한 분석 방법은 270° 에서 0.31 mm로 가장 큰 차이가 나타났다. 실제 다엽콜리메이터 정도관리 시 갠트리 각도 변화에 따라 엽의 위치 오차가 커지는 것을 확인

했고, 중력 반대 방향인 270° 와 중력 수직 방향인 90° 에서 엽의 위치 오차가 더 크게 나타났다. Mu 등⁽²⁰⁾은 $\pm 0.5 \sim 1$ mm의 systematic 다엽콜리메이터의 오차로 인해 일반 세기조절방사선치료 계획의 평균 선량 편차가 4%, 복잡한 계획의 선량 편차가 8%까지 증가할 수 있음을 언급했다. 또한, Lee 등⁽¹⁶⁾의 연구에서 갠트리 각도 0° 를 기준으로 하였을 때 중력 수직 반대 방향인 270° 에서 평균 1.2%까지 선량차가 발생했다고 보고했다. 따라서 갠트리 각도 변화에 따른 중력효과로 인해 다엽콜리메이터의 엽의 위치 오차가 발생하게 되며 이는 선량차이로 이어질 수 있다.

본 연구에서 다엽콜리메이터 엽의 위치 오차 분석은 EPID와 EBT3 film을 이용했으며, picket fence test를 시행해 분석된 엽의 오차를 토대로 비교 평가하였다. EPID는 모든 엽의 위치 오차는 평균 0.24 mm였으며, 오차의 최댓값은 0.54 mm였다. EBT3 film은 모든 엽의 위치 오차는 평균 0.22 mm였으며, 오차의 최댓값은 0.48 mm였다. 두 분석방법차이는 평균 3.1%로 나타났다(Table 3). EPID에 비해 EBT3 film이 상대적으로 오차가 적게 나타났다. EPID와 EBT3 film 모두 270° 와 90° 에서 큰 차이가 나타났다. 최근 높은 공간 분해능과 짧은 측정시간을 가진 EPID를 이용한 선량 분석이 활발히 이루어지고 있다. EPID의 반응 특성에 관한 여러 연구에서 반응이 안정적이며 선량 검증에 적합하다는 것을 보여주었고, 간단하고 반복적으로 측정할 수 있으며, 즉시 절대 선량 이미지로 변환할 수 있어 시간과 비용이 절약된다. 하지만 EPID는 EBT3 film보다 중력에 의한 처짐 현상이 크게 나타났다는 연구결과가 발표되었다.⁽¹⁸⁾ Pejman 등⁽²¹⁾은 갠트리의 회전은 EPID의 정확성에 영향을 주며, 이러한 원인으로 EPID의

Table 2. The results of the gap width and the distance between gaps of the MLC using the EPID and EBT3 film according to gantry angle variation (Unit : mm)

Gantry angle	EPID (Mean±SD)		EBT3 (Mean±SD)	
	Gap width	Distance between gaps	Gap width	Distance between gaps
0°	2.74 ± 0.06	15.01 ± 0.03	2.69 ± 0.07	15.02 ± 0.02
90°	2.86 ± 0.11	15.03 ± 0.03	2.71 ± 0.07	15.01 ± 0.03
180°	2.76 ± 0.10	15.02 ± 0.03	2.69 ± 0.11	15.01 ± 0.02
270°	2.82 ± 0.10	15.02 ± 0.03	2.81 ± 0.13	15.03 ± 0.03
Average	2.80 ± 0.09	15.02 ± 0.03	2.73 ± 0.10	15.02 ± 0.03

Table 3. Comparison for MLC leaf position error for EPID and EBT3 film

Gantry angle	Average of error(mm)		Difference(%)
	EPID	EBT3	
0°	0.18	0.19	5.7
90°	0.31	0.21	32.2
180°	0.20	0.19	5.0
270°	0.26	0.31	19.2
Average	0.24	0.22	3.1

처짐 현상, 기울, 뒤틀림 등을 언급했다. 또한, Angelo 등⁽²²⁾은 EPID를 이용한 갠트리 각도 의존성 실험에서 EPID가 갠트리 각도에 따라 의존하는 것은 중력이 EPID 위치에 영향을 주기 때문이라고 설명했다. 따라서 갠트리 각도 변화에 따라 EPID가 중력에 영향을 받으므로 엽의 위치 정확성 평가 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

EBT3 film과 EPID의 공간분해능은 각각 0.353 mm와 0.392 mm로 엽의 위치 정확성을 확인하는 것이 가능하다. Millennium 120 MLC는 중심 40개의 엽은 0.5 cm이며 바깥쪽 20개의 엽은 1 cm이다. 중심 엽과 바깥쪽 엽의 너비는 같지 않지만, 분석프로그램을 이용하여 엽 사이의 너비를 보정하였다.⁽²³⁾ 본 연구에서 측정된 엽사이의 거리는 EPID와 EBT3 film 모두 설정한 값과 0.2% 이내의 차이가 나타났다. 이는 EPID와 EBT3 film를 이용한 분석이 정확함을 의미하고, EPID와 EBT3 film의 분석 감도가 유사함을 알 수 있었다. 또한, EPID와 EBT3 film 모두 TG-142에서 권고한 엽의 위치 오차 허용 기준 ± 1 mm 이내의 값을 만족했다.

본 연구는 갠트리 각도에 따른 다엽콜리메이터의 엽의 위치 오차를 분석해본 결과 중력효과에 의한 엽의 위치 오차를 확인하였고, EPID와 EBT3 film을 이용하여 갠트리 각도 변화에 따른 엽의 위치 정확성을 비교한 결과 EPID를 이용한 오차 분석방법에서 EBT3 film보다 더 큰 오차가 발생했다. 치료는 일반적으로 넓은 범위의 갠트리 각도에서 환자의 치료 범위가 결정되므로 정확한 다엽콜리메이터의 선량 전달이 요구된다. 많은 연구에서 다엽콜리메이터의 위치 정확성에 대한 중요성을 언급했으며^(9,10,11), 엽의 위치 오류는 선량차이를 초래한다. 따라서 다엽콜리메이터를 기반으로 하는 세기조절방사선치료의 경우 정확한 선량

조사에 대한 검증뿐만 아니라 다엽콜리메이터의 정확하고 정밀한 작동에 대한 정도관리 및 분석방법에 대한 비교 및 검증이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Khan FM: The Physics of Radiation Therapy. 3rd edition, Williams & Wilkins, Philadelphia, MD 2003;481-506.
2. Gary A. Ezzell, James M. Galvin, Daniel Low, Jatinder R. Palta, Isaac Rosen, Michael B. Sharpe, Ping Xia, Ying Xiao, Lei Xing, Cedric X. Yu: Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT: report of the IMRT Subcommittee of the AAPM Radiation Therapy Committee, Medical Physics 2003;30(8):2089-2115.
3. Harish K Malhotra, Sanjay Raina, Jaiteerth S Avadhani, Matthew B Podgorsak: Technical and dosimetric considerations in IMRT treatment planning for large target volumes, Journal of Applied Clinical Medical Physics 2005;6(4):77-87.
4. Tejinder Kataria, Sheh Rawat, SN Sinha, PS Negi, Charu Garg, NK Bhalla, RK Munja: Intensity modulated radiotherapy in abdominal malignancies: our experience in reductiong the dose to normal structures as compared to the gross tumor, Journal Cancer Research Therapeutics 2006;2(4):161-165.

5. Jin Beom Chung, Jae Sung Kim, Sung Whan Ha, Sung-Joon Ye: Statistical analysis of IMRT dosimetry quality assurance measurements for local delivery guideline, *Radiation Oncology* 2011;6:1-8.
6. Jean M. Moran, Melanie Dempsey, Avraham Eisbruch, Benedick A. Fraass, James M. Galvin, Geoffrey S. Ibbott, Lawrence B. Marks: Safety considerations for IMRT: Executive summary, *Practical Radiation Oncology* 2011;1:190-195.
7. Jeong Woo Lee, Semie Hong, Yon Lae Kim, Kyoung Sik Choi, Jin Beom Chung, Doo Hyun Lee, Tae Suk Suh: Effects of static dosimetric leaf gap on MLC-based small beam dose distribution for intensity-modulated radiosurgery, *Journal of Applied Clinical Medical Physics* 2007;8(4):54-65.
8. Kayla N. Kielar, Ed Mok, Annie Hsu, Lei Wang, Gary Luxton: Verification of dosimetric accuracy on the TrueBeam STx: Rounded leaf effect of the high definition MLC, *Medical Physics* 2012;39(10):6360-6371.
9. Eric E. Klein, Joseph Hanley, John Bayouth, Fangfang Yin, William Simon, Sean Dresser, Christopher Serago, Francisco Aguirre, Lijun Ma, Bijan Arjomandy, Chihray Liu, Carlos Sandin, Todd Holmes: Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators, *Medical Physics* 2009;36(9):4197-4212.
10. Bayouth John E, Wendt D, Morrill SM: MLC quality assurance techniques for IMRT applications, *Medical Physics* 2003;30(5):743-750.
11. Thomas LoSasso: IMRT delivery performance with a varian multileaf collimator, *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics* 2008;70(1):85-88.
12. Chen Shou, Spiridon Spirou, Thomas LoSasso: Testing of dynamic multileaf collimation, *Medical Physics* 1996;23(5):635-641.
13. Maria Sastre-Padro, Uulke A van der Heide, Hans Welleweerd: An accurate calibration method of the multileaf collimator valid for conformal and intensity modulated radiation treatments, *Physics in Medicine and Biology* 2004;49(12):2631-2643.
14. Rangel Alejandra, Peter Dunscombe: Tolerances on MLC leaf position accuracy for IMRT delivery with a dynamic MLC, *Medical Physics* 2009;36(7):3304-3309.
15. Sen Bai, Guangjun Li, Maojie Wang, Qinfeng Jiang, Yingjie Zhang: Effect of MLC leaf position, collimator rotation angle, and gantry rotation angle errors on intensity modulated radiotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma, *Medical dosimetry* 2013;38(2):143-147.
16. Jeong woo Lee, Jin Beom Chung, Doo Hyun Lee, Jeong Hoon Park, Bo Young Choe, Tae Suk Suh, Hong Seok Jang, Semie Hong, Byung Moon Park, Min Young Kang, Kyoung Sik Choi, You Hyun Kim: Discrepancy of Intensity Modulation Radiation Therapy Dose Delivery due to the Dose-Dynamic Multi-Leaf Collimator Gravity Effect, *Journal of the Korean Physical Society* 2008;53(6):3436-3443.
17. Iori SUMIDA, Hajime YAMAGUCHI, Hisao KIZAKI, Masahiko KOIZUMI, Toshiyuki OGATA, Yutaka TAKAHASHI and Yasuo YOSHIOKA: Quality assurance of MLC leaf position accuracy and relative dose effect at the MLC abutment region using an electronic portal imaging device, *Journal of Radiation Research* 2012;53:798-806.
18. Marzena MORAWSKA-ACZYŃSKA, Ryszard DAŃBROWSKI, Izabela DROZDYK, Paweł KUKOŁOWICZ: Testing of a sag of a dosimetry system rotating with a gantry using the interplay effect between detector motion and MLC motion, *Polish Journal of Medical Physics and Engineering* 2017;23(2):21-28.

19. 권구원: 방사선 치료 시 피부선량 및 심부선량 백분율 측정을 위한 초박형 광섬유 방사선량계의 개발, 학위 논문(석사) 2016.
20. Mu G, Ludlum E, Xia P: Impact of MLC leaf position errors on simple and complex IMRT plans for head and neck cancer, *Physics in Medicine and Biology* 2008;53(1):77-88.
21. Pejman Rowshanfarzad, Conor K McGarry, Michael P Barnes, Mahsheed Sabet, Martin A Ebert: An EPID-based method for comprehensive verification of gantry, EPID and the MLC carriage positional accuracy in Varian linacs during arc treatments, *Radiation Oncology* 2014;9:249.
22. Angelo Filippo Monti, Chiara Berlusconi, Stefania Gelosa: Gantry angle dependence in IMRT pre-treatment patient-specific quality controls, *Physica Medica* 2013;29:204-207.
23. Yinghui Li, Lixin Chen, Jinhan Zhu, Bin Wang, Xiaowei Liu: A quantitative method to the analysis of MLC leaf position and speed based on EPID and EBT3 film for dynamic IMRT treatment with different types of MLC, *Journal of applied clinical medical physics* 2017;18(4):106-115.

Comparative evaluation for leaf position accuracy according to gantry angle variation in MLC quality assurance using electronic portal imaging device(EPID) and GafChromic EBT3 film

Department of Radiation Oncology, Chonbuk National University Hospital¹, Department of Radiation Oncology, Institute for Medical Sciences, Chonbuk National University Medical School², Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University-Biomedical Research Institute, Chonbuk National University Hospital³, Jeonju, Korea

**Myung Sic Yang¹, Ju Kyeong Park¹, Seung Hun Lee¹, Sun Young Lee^{1,2}, Jung Soo Kim^{1,2},
Hyung Cheol Kwon^{1,2}, Yang Su Kim¹**

Objectives: The purpose of this study was to evaluate the error of the leaf position accuracy of the MLC due to the gravity effect according to the gantry angle by using picket fence test using EPID and GafChromic EBT3 film.

Materials and Methods: A 5 cm solid phantom was placed on the table and the SAD was set to 100 cm. The EBT3 film was placed exactly over the solid phantom and covered a 1.5 cm solid phantom and the picket fence test was performed.

The EPID was measured under the same conditions as the EBT3 film at SID 100 cm. The gantry angles were measured at 0°, 90°, 180° and 270° in order to evaluate the position of the MLC according to the gantry angle. For the geometric evaluation of the MLC, the leaf position accuracy of the MLC was analyzed using the analysis program.

Results: In case of EPID, when the gantry angle was changed to 0°, 90°, 180°, 270°, the difference of the position errors of the leaves was 0.18 mm, 0.31 mm, 0.20 mm, 0.26 mm on the average and the maximum values of the errors were respectively 0.44 mm, 0.54 mm, 0.34 mm, 0.44 mm. In case of EBT3 film, when the gantry angle was changed to 0°, 90°, 180°, 270°, the difference of the position errors of the leaves was 0.19 mm, 0.21 mm, 0.19 mm, 0.31 mm on the average and the maximum values of the errors were respectively 0.35 mm, 0.45 mm, 0.36 mm, 0.48 mm.

Conclusion: In this study, we analyzed the position error of the leaf of the MLC according to the gantry angle, and confirmed the position error of the leaf by gravity effect.

As a result of comparing the leaf position accuracy using EPID and EBT3 film according to the variation of gantry angle, a larger error occurred in the error analysis method using EPID than that of EBT3 film.

Therefore, in the case of IMRT based on MLC, as well as verification of accurate dosimetry should be conducted, it is considered that the quality control and verification for the precise operation of the MLC will be needed. and it is necessary to compare and verify the method of analysis.

▶ **Key word:** EPID, EBT3 film, MLC, Gantry angle, Gravity effect, Quality assurance.