

## &lt;원저&gt;

## 체적조절호형방사선치료 시 갠트리 회전과 다엽콜리메이터의 이동 속도에 따른 선량분포 평가

김연래<sup>1)</sup>·정진범<sup>2)</sup>·이정우<sup>3)</sup>·신영주<sup>4)</sup>·강동진<sup>4)</sup>·정재용<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>춘해보건대학교 방사선과·<sup>2)</sup>분당서울대학교병원 방사선종양학과

<sup>3)</sup>건국대학교병원 방사선종양학과·<sup>4)</sup>상계백병원 방사선종양학과

### The Effect of MLC Leaf Motion Constraints on Plan Quality and Delivery Accuracy in VMAT

Kim Yon-Lae<sup>1)</sup>·Chung Jin-Beom<sup>2)</sup>·Lee Jeong-woo<sup>3)</sup>·Shin Young-Joo<sup>4)</sup>·Kang Dong-Jin<sup>4)</sup>·Jung Jae-Yong<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Radiologic Technology, Choonhae College of Health Science

<sup>2)</sup>Department of Radiation Oncology, Seoul National Univ. Bundang Hospital

<sup>3)</sup>Department of Radiation Oncology, Konkuk University Hospital

<sup>4)</sup>Department of Radiation Oncology, Inje University Sanggye Paik Hospital

**Abstract** The purpose of this study is to evaluate the dose distribution by gantry rotation and MLC moving speed on treatment planning system(TPS) and linear accelerator. The dose analyzer phantom(Delta 4) was scanned by CT simulator for treatment planning. The planning target volumes(PTVs) of prostate and pancreas was prescribed 6,500 cGy, 5,000 cGy on VMAT(Volumetric Modulated Arc Therapy) by TPS while MLC speed changed. The analyzer phantom was irradiated linear accelerator using by planned parameters. Dose distribution of PTVs were evaluated by the homogeneity index, conformity index, dose volume histogram of organ at risk(rectum, bladder, spinal cord, kidney). And irradiated dose analysis were evaluated dose distribution and conformity by gamma index. The PTV dose of pancreas was 4,993 cGy during 0.1 cm/deg leaf and gantry that was the most closest prescribed dose(5,000 cGy). The dose of spinal cord, left kidney, and right kidney were accessed the lowest during 0.1 cm/deg, 1.5 cm/deg, 0.3 cm/deg. The PTV dose of prostate was 6,466 cGy during 0.1 cm/deg leaf and gantry that was the most closest prescribed dose(6,500 cGy). The dose of bladder and rectum were accessed the lowest during 0.3 cm/deg, 2.0 cm/deg. For gamma index, pancreas and prostate were analyzed the lowest error 100% at 0.8, 1.0 cm/deg and 99.6% at 0.3, 0.5 cm/deg. We should used the optimal leaf speed according to the gantry rotation if the treatment cases are performed VMAT.

**Key Words:** VMAT, MLC, Homogeneity index, Conformity index, Gamma index

**중심 단어:** 체적조절호형방사선치료, 다엽콜리메이터, 균질성지표, 일치지표, 감마인덱스

## I. 서 론

방사선 치료의 궁극적인 목적은 종양조직에는 적합한 방사선을 부여하며 동시에 정상조직에는 최소의 방사선 선량

을 조사하여 치료가능비(Therapeutic ratio)를 최대한 높이는 것을 목적으로 한다[1]. 방사선치료는 이러한 궁극적인 목적을 달성하기 위하여 발전하여왔는데, 체적조절호형방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy; VMAT)는

This paper was funded by 2019 academic research support project of Choonhae College of Health Sciences.

Corresponding author: Jae-Yong Jung, Department of Radiation Oncology, Sanggye Paik Hospital, 1342, Dongilro, Nowon-gu, Seoul, 01757, Republic of Korea / Tel: +82-2-950-1223 / E-mail: achinara@paik.ac.kr

Received 15 May 2019; Revised 03 June 2019; Accepted 16 June 2019

Copyright ©2019 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

기존의 2차원적인 치료기법인 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radio-Therapy; IMRT)의 확장된 치료기법으로 갠트리의 회전과 다엽콜리메이터(Multi-leaf Collimator; MLC)가 동시에 움직이면서 조사하는 치료방법이다[2]. 세기조절방사선치료와 비교하여 체적조절호형방사선치료의 장점은 유사하나 모니터유니트(MU)의 감소와 치료시간의 단축에 있다. 그러므로 체적조절호형방사선치료는 장비의 과부하와 검사시간을 줄여 누설선량과 산란선량을 감소시킬 수 있으며 치료시간의 단축으로 환자의 내 외부 선량에 대한 오차의 가능성을 줄일 수 있다[3]. 이와 같이 오차 가능성을 줄이기 위해서 체적조절호형방사선치료는 임상에 적용하기 전에 환자에게 조사되는 선량 및 분포를 평가하기 위하여 장비 및 환자의 정도관리(Quality Assurance; QA)가 선행되어야 한다[4]. 체적조절호형방사선치료의 파라미터에는 갠트리 속도, 선량을, 제어지점, 다엽콜리메이터(MLC) 속도 및 움직임의 설정 및 제약조건 등의 변화에 의해 치료방법이 다양해진다. 여러 가지 파라미터 중 에서 가장 중요한 파라미터는 갠트리의 회전과 다엽콜리메이터의 속도 및 움직임이다. 그러므로 치료계획시스템(Treatment Planning System; TPS)의 선량계산은 갠트리 회전에 따른 다엽콜리메이터의 속도와 움직임에 따라 선량분포의 변화가 있을 수 있다.

기존의 연구 중에서 좌측 유방암 환자의 경우 수술 후 방사선 치료를 실시 할 때 치료계획용적 내에 좌측 유방이 포함 될 경우, 우측 유방암 환자나 호지킨스 질병환자와 비교하여 추적관찰 해본 결과 15년 후에 심장병으로 사망하는 확률이 더 높다는 연구결과가 보고되고 있다[5]. 환자의 부작용을 방지하기 위하여 2차원 고전적 치료에서 3차원 입체조형치료, 세기조절 방사선치료, 그리고 체적조절호형방사선치료는 종양의 움직임, 환자의 위치잡이, 환자의 호흡에 대한 움직임을 고려하여 치료계획용적(PTV)을 정하여 종양 및 정상조직의 용적을 설정하였다[6]. 그러나 세기조절방사선치료와 체적조절호형방사선치료는 다엽콜리메이터에서 발생한 오차에 대한 보정이 부족한 상태이다. 체적조절호형방사선치료는 갠트리 회전에 따라 다엽콜리메이터 속도가 변할 때 속도에 따른 선량분포의 변화가 발생하는데 그에 대한 연구가 미비한 실정이다[7,8]. 그러므로 본 연구의 목적은 갠트리 회전에 따른 다엽콜리메이터의 속도의 변화로 발생하는 선량분포의 차이를 연구해보고, 치료계획용적내의 균질성지표, 일치지표, 정상조직의 선량과 전체선량분포 비교를 하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 속도에 따른 치료계획

세기조절방사선치료의 원리는 2차원적 치료 조사면의 선량 분포가 일정하게 유지되는 전통적인 치료 방식과는 달리, 조사면의 선량 세기는 불균일하지만 병변에 이상적인 모양으로 선량이 분포하도록 설계하는 것이다. 체적조절호형방사선치료는 8-core CPU, 16GB RAM, 8GB GPU가 장착된 64 bit 윈도우 시스템 치료계획장치(Oncentra v. 4.1, Electa, Crawley, United Kingdom)로 치료계획을 하였다. 그리고 ARIA v.8.6 R&V 시스템이 사용되었다. 체적조절호형방사선치료의 치료계획은 일정한 선량률과 갠트리 속도를 사용한다. 모든 치료계획은 6 MV 광자선을 이용하였으며, 회전 각도는 356° 싱글 또는 듀얼 아크(시계 방향과 반시계 방향)를 이용하였다. 갠트리를 356° 회전하는데 2° 간격으로 90초 동안 회전을 시켰다. 그리고 다엽콜리메이터 움직임 제한은 0.1~2 cm/deg 사이로 사용을 하였다[9,10,11]. 치료계획은 선량측정팬텀(Delta<sup>4PT</sup>, Scandidos AB, Uppsala, Sweden)에 전립선, 췌장 치료를 가정하여 속도에 따른 치료계획을 하였고, 결정 장기(organ at risk, OAR)는 방광, 직장, 신장, 척수를 설정하였다[12,13].

### 2. 치료계획 분석 및 선형가속기의 선량 전달 정확도 평가

치료계획 선량검증은 선량측정팬텀에 분포된 선량을 평가하였다. 평가 항목은 목표 및 결정 장기에 대한 균질성지수(HI<sub>RTOG</sub>), 적합성지수(CI<sub>RTOG</sub>), 부피-선량 그래프(Dose volume histogram, DVH)를 각각 비교하여 평가하였다 [13]. 선량검증은 다엽콜리메이터 움직임을 0.5 cm/deg를 기준으로 하여 속도에 따른 치료계획과 비교하였다[15]. 선량분포 검증을 위해서 120개 다엽콜리메이터가 있는 선형가속기(Clinac IX, Varian Medical System Palo Alto, CA)



Fig. 1. The phantom setup for verification on Clinac IX

를 사용하여 체적조절호형방사선 조사를 선량측정팬텀에 조사하였다(Fig. 1). 선량분포 정확도 평가는 3%/3 mm를 허용기준으로 감마 분석( $r$  index)을 사용했다[16].

### III. 결 과

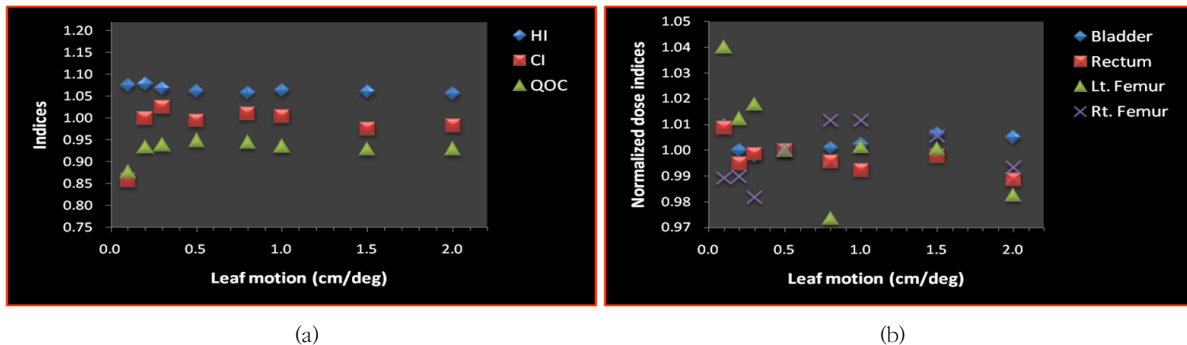
Fig. 2, Table 1에서 보면 전립선에서 치료계획용적 선량은 다엽콜리메이터 움직임이 0.1 cm/deg일 때 6,466 cGy로 치료계획의 치료계획용적 선량인 6,500 cGy에 가장 가까웠

다. 주위 정상조직인 방광은 0.3 cm/deg일 때 4176 cGy, 직장은 2.0 cm/deg일 때 2704 cGy로 가장 낮았고, 전립선의 균질성지표는 다엽콜리메이터 움직임이 2.0 cm/deg일 때 1.056로 가장 균등한 선량분포를 나타내었고 일치지표는 0.2 cm/deg일 때 1,000로 가장 일치하였다.

Fig. 3, Table 2에서는 췌장의 치료계획표적용적은 다엽콜리메이터 움직임이 0.1cm/deg일 때 4993 cGy로 치료계획의 치료계획표적용적 선량인 5000 cGy에 가장 근접하였고, 주위 정상조직인 척추선량은 0.1 cm/deg일 때 2909 cGy, 왼쪽 신장은 1.5 cm/deg일 때 915 cGy, 오른쪽 신장은

**Table 1.** Prostate evaluations of PTV, bladder, rectum, HI, CI, r index

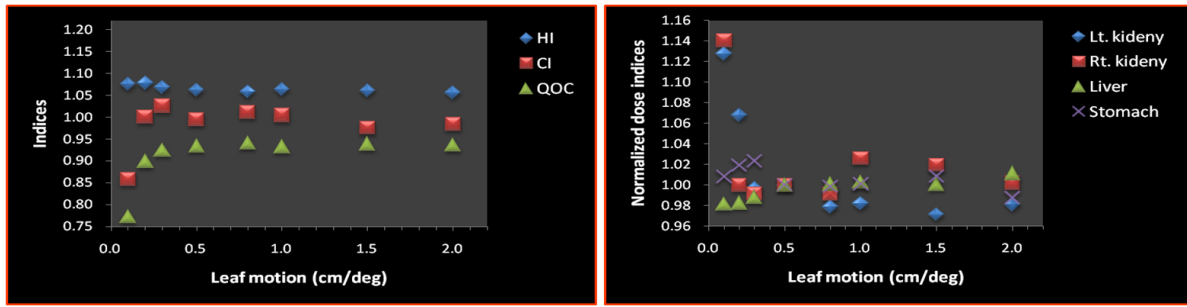
Leaf motion	PTV	Bladder	Rectum	HI	CI	r index(%)
0.1	6466	4225	2759	1,075	0.858	99.4
0.2	6458	4185	2721	1,078	1	99.2
0.3	6458	4176	2731	1,068	1,025	99.6
0.5	6455	4185	2735	1,062	0.995	99.6
0.8	6457	4189	2723	1,058	1,011	99.4
1.0	6458	4195	2714	1,064	1,004	99.1
1.5	6454	4212	2729	1,061	0.975	98.7
2.0	6454	4206	2704	1,056	0.983	98.4



**Fig. 2.** Comparison of plan quality for prostate case. (a) dose index at target (HI: Homogeneity index, CI: Conformity index, QOC: Quality of coverage) (b) dose indices at OARs (The normalization was performed by 0.5 cm/deg leaf motion constraint plan)

**Table 2.** Pancreas evaluations of PTV, spinal cord, kidney, HI, CI, r index

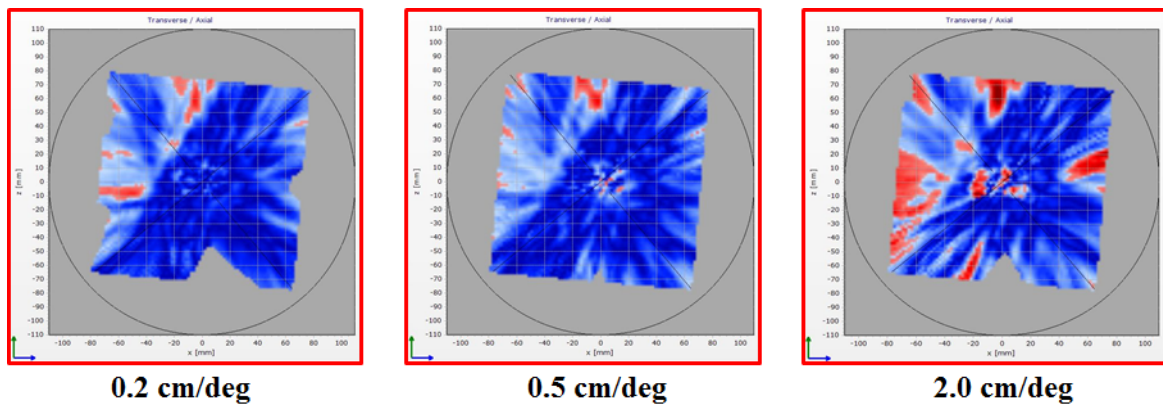
Leaf motion	PTV	Spinal cord	Lt. kidney mean	Rt. Kidney mean	HI	CI	r index(%)
0.1	4993	2909	1062	527	1,106	0.655	99.3
0.2	5047	3189	1006	462	1,069	0.914	99.7
0.3	5052	3228	939	458	1,059	0.98	99.3
0.5	5054	3254	942	462	1,063	0.979	99.8
0.8	5054	3216	922	458	1,061	0.989	100
1.0	5052	3234	925	474	1,056	0.993	100
1.5	5052	3432	915	471	1,062	0.999	99.3
2.0	5043	3231	924	463	1,059	0.975	91.9



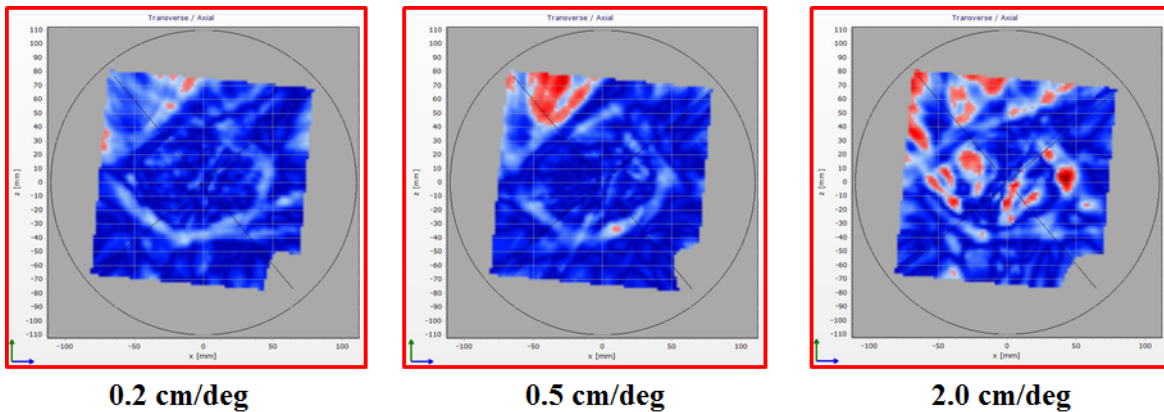
(a)

(b)

**Fig. 3.** Comparison of plan quality for pancreas case, (a) dose index at target (HI: Homogeneity index, CI: Conformity index, QOC: Quality of coverage) (b) dose indices at OARs (The normalization was performed by 0.5 cm/deg leaf motion constraint plan)



**Fig. 4.** Prostate gamma map of 3%/3 mm



**Fig. 5.** Pancreas gamma map of 3%/3 mm

0.3과 0.8 cm/deg일 때 458 cGy로 가장 낮게 나왔다. 췌장의 균질성지표(HI)는 다엽콜리메이터 움직임이 1.0 cm/deg일 때 1.056,로 가장 균등한 선량분포를 나타내었고 일치지표(CI)는 1.5 cm/deg일 때 0.999로 가장 일치하였다.

전체적인 치료계획상의 값과 실제 치료 시 얻은 결과 값의 일치도를 감마인덱스 값으로 평가하였다. 전립선의 감

마인덱스는 0.3 cm/deg과 0.5 cm/deg일 때 99.6%, 췌장의 감마인덱스는 0.8과 1.0 cm/deg일 때 100% 일치도를 보였다. 감마 분포에서 전립선과 췌장에서 다엽콜리메이터 속도가 빨라질수록 3%/3 mm가 일치하지 않는 영역이 증가하였다(Fig. 4, 5). 전립선과 췌장의 치료계획용적과 결정 장치의 부피 선량 그래프 평가를 하였다(Fig. 6).

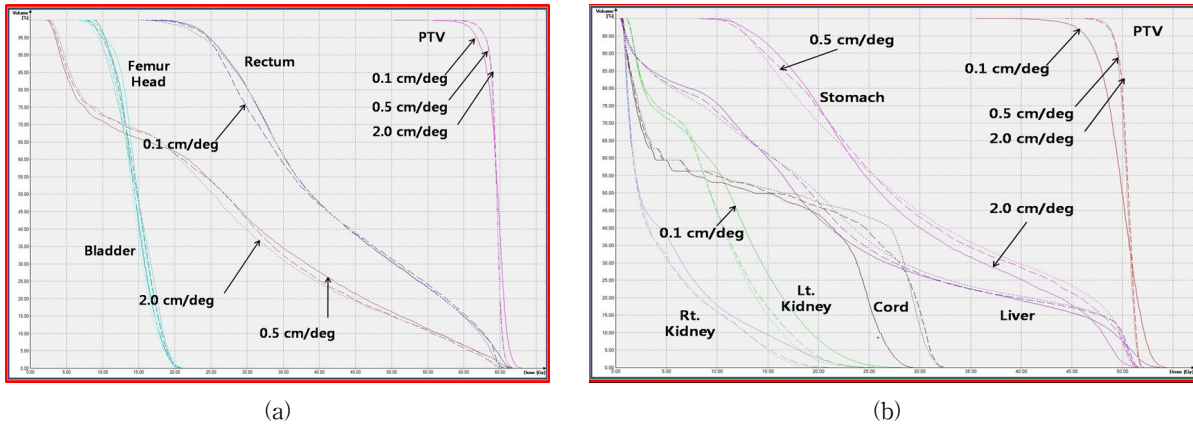


Fig. 6. Dose volume histogram of prostate(a) and pancreas(b)

#### IV. 고 찰

갠트리의 회전에 따라 다엽콜리메이터가 움직이면 전체적인 모니터유닛 값에 변화가 발생하고 그로 인한 치료시간은 달라질 수 있다. 선량분포는 적절한 속도를 유지하면서 환자의 치료시간도 오래 걸리지 않고 종양과 정상조직에 선량분포를 좀 더 균등하게 줄 수 있는 치료방법을 선택해야한다. 기존에 연구에서 체적조절호형방사선치료 시 속도에 대한 평가가 치료계획과 로그 파일을 분석해서 선량 및 분포를 분석하였다[7]. 그러나 본 연구는 치료계획과 선형가속기에서 실제 조사되었을 경우의 선량 및 분포를 분석하였기 때문에 조금 더 정확한 차이를 평가할 수 있었다. 그러므로 최근에 방사선치료에 많이 적용되고 있는 체적조절호형방사선치료에서 다엽콜리메이터 제약은 선량 불일치로 이어지지만 우수한 계획 품질로 이어질 수 있다. 그리고 계획품질, 전달정확도, 전달효율성 사이 최상의 상태를 적용하므로 환자 치료의 최적의 효율을 만들 수 있다.

#### V. 결 론

본 연구는 체적조절호형방사선치료 시 갠트리의 회전에 따른 다엽콜리메이터의 속도 변화에 따른 종양과 정상조직의 선량 및 선량분포를 평가하였다. 최근 방사선치료에서 체적조절호형방사선치료는 선택이 아닌 필수처럼 많은 환자에게 적용되고 있다. 그러므로 방사선치료의 목적 달성을 위하여 최적의 다엽콜리메이터 속도를 설정하는 것이 환자의 치료에 도움이 되리라 판단된다.

#### Acknowledgement

본 논문은 2019년도 춘해보건대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

#### REFERENCES

- [1] Ko HJ, Kim YJ, Jang SJ. The comparison of dose distribution on radiation therapy between IMRT and VMAT in modified radical mastectomy patients. The Journal of the Korea Contents Association, 2014;14(8):225-32.
- [2] Kang DJ, Jung JY, Kim JH, Park S, Lee KS, Sohn SC, Shin YJ, Kim YL. The patient specific QA of IMRT and VMAT through the AAPM task group report 119. Journal of Radiological Science and Technology, 2012;35(3):255-63.
- [3] Rao M, Yang W, Chen F, et al. Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT: Plan quality delivery efficiency and accuracy. Med Phys, 2010;37:1350-9.
- [4] Jung JY, Shin YJ, Sohn SC, Kim YL, Min JH, Suh TS. Dosimetry effect on selectable optimization parameters of volumetric modulated arc therapy. Journal of Korean Medical Physics, 2012;23(1):15-25.
- [5] Darby SC, Ewertz M, McGale P, Bennet AM, et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. N Engl J Med, 2013;

- 368:987–98.
- [6] Kim CY, Lee JH, Kwak YK, Ha MY. Evaluation of planning dose accuracy in case of radiation treatment on inhomogeneous organ structure. *The Journal of Korean Society for Radiation Therapy*. 2013;25(2):137–43.
- [7] Park JM, Wu HG, Kim JH, Carlson JNK, Kim K. The effect of MLC speed and acceleration on the plan delivery accuracy of VMAT. *The British Institutet of Radiology*. 2015;88(1049):698–703.
- [8] Oh SA, Kang MK, Kim SK, Yea JW. Comparison of IMRT and VMAT techniques in spine stereotactic radiosurgery with international spine radiosurgery consortium consensus guideline. *Prog Med Phys*. 2013;24:145–53.
- [9] Masahide S, Naoki S, Yuki S, Kengo K, Takafumi K, Kan M, et al. Comparison of MLC error sensitivity of various commercial devices for VMAT pre-treatment quality assurance. *J Appl Clin Med Phys*. 2018;19(3):87–93.
- [10] Oliver M, Gagne I, Bush K, Zavgorodni S, Ansbacher W, Beckham W. Clinical significance of multileaf collimator positional errors for volumetric modulated arc therapy. *Radiother Oncol*. 2010;97:554–60.
- [11] Todsaporn F, Peter BG, Benjamin, JZ, Michael PB, Joerg L. A novel and independent method for time-resolved gantry angle quality assurance for VMAT. *Appl Clin Med Phys*. 2017;18(5):134–42.
- [12] Quan EM, Li X, Li Y, et al. A comparison of IMRT and VMAT plan quality for prostate cancer treatment. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012;83–1169–1178.
- [13] Wolff D, Stieler F, Welzel G, et al. Volumetric modulated arc therapy vs. serial tomotherapy step-and-shoot IMRT and 3D-conformal RT for treatment of prostate cancer. *Radiother Oncol*. 2009;93:226–33.
- [14] Manikandan A, Sarkar B, Holla R, Vivek TR, Sujatha N. Quality assurance of dynamic parameters in volumetric modulated arc therapy. *Br J Radiol*. 2012;85:1002–7.
- [15] Tyagi N, Yang K, Gersten D, Yan D. A real time dose monitoring and dose reconstruction tool for patient specific VMAT QA and delivery. *Med Phys*. 2012;39:7194–204.
- [16] Kim JI, Park SY, Kim HJ, Kim JH, Ye SJ, Park JM. The sensitivity of gamma-index method to the positioning errors of high-definition MLC in patient-specific VMAT QA for SBRT. *Radiat Oncol*. 2014;9:167.