Flattening filter-free beam을 이용한 방사선 치료 기법의 특성 및 환자의 시간적 · 경제적 유용성 평가

분당서울대학교병원 방사선종양학과

구장현 · 원희수 · 홍주완 · 장남준 · 박진홍

목 적 : Flattening filter-free (3F) beam과 flattening filter (2F) beam을 이용한 치료기법에 따른 특성 비교와 환자 측면의 시간적 · 경제적 유용성을 비교 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : Alderson rando phantom의 전산화단층촬영 영상을 획득하여 가상의 전립선을 설정한 후 세기변조 방사선치료, 용적변조 회전방사선치료 그리고 체부정위적 방사선치료에 3F와 2F beam을 각각 적용하여 총 6개의 전산화치료계획을 수립하였다. 선량률은 3F beam을 이용한 치료기법에 1200 MU/min을 설정하였고, 2F beam의 경우 600 MU/min을 적용하였다. 3F와 2F beam을 이용한 치료기법의 특성 비교를 위하여 총 monitor unit (MU)값을 비교하였고 치료시간의 비교를 위하여 beam on time (BOT)과 gantry rotation time (GRT)을 측정하였으며, 3F와 2F beam에 의한 각 치료기법에서 발생되는 광중성자 측정을 위하여 Surveillance And Measurement (SAM) 940을 사용하였다. 또한, 환자의 총 내원기간과 자기부담금을 계산하였다.

결 과 : 총 MU값은 세기변조 방사선치료에서 3F beam을 이용하였을 때 2F beam을 이용한 경우보다 최대 34.0% 증가하였고 BOT, GRT 그리고 광중성자 측정값은 체부정위적 방사선치료에 3F beam을 적용하였을 때 2F beam보다 각각 최대 39.8, 38.6, 48.1% 감소하였다. 환자의 총 내원기간과 자기부담금은 3F와 2F beam의 이용에 따른 차이는 없었으며, 치료기법 중 체부정위적 방사선치료가 10일과 169,560원으로 가장 적게 나타났다.

결 론 : 본 연구 결과, 3F beam의 고 선량률을 이용한 치료기법은 2F beam과 비교하여 총 MU값은 증가하였으나 BOT, GRT 그리고 광중성자 측정값이 모두 감소하였다. 이처럼 3F beam의 고 선량률을 사용하는 치료기법은 intra-fraction setup error 및 2차 방사선 유발암 발생률을 줄이는 효과를 기대할 수 있으나, 동일한 치료기법 내에서 3F와 2F beam 사용에 따른 환자에게 특별한 시간적 · 경제적인 이점은 없었다.

핵심용어 : Flattening filter-free beam, 광중성자, 체부정위적 방사선치료

서 론

방사선치료에 있어 선속평탄여과판 (flattening filter, 2F)의 역할은 선형가속기내에서 고속으로 가속된 전자와 transmission target과의 상호작용으로 발생된 불균일한 빔의 강도 분포를 평탄화하는데 있다. 하지만, 선속평탄여과판의 사용은 조사용기 (treatment head)로부터 누설 및 산란 선량을 증가시키는 결과를 가져오기도 한다.[1] 최근 의료장비의 발전으로 빔의 선속 내에 선속평탄여과판이 존재하지 않는 flattening filter-free (3F) beam의 적용이 가능한 선형가속기가 도입되어 임상에서 사용되고 있다.[2] 3F beam의 불균일한 강도 분포는 컴퓨터에 의하여 다엽 콜리메이터 (multi-leaf collimator, MLC)를 정밀하게 조절함으로써 표적체적에 조사가 가능하게 되었으며, 선속평탄여과판을 빔의 선속 내에서 제거함으로써 조사용기로부터 누설 및 산란선량 그리고 광중성자 발생까지도 줄일 수 있게 되었다.[1,3] TrueBeam™ STx (Varian medical system, Palo Alto, USA)는 3F beam의 고 선량률 사용이 가능하고 6 MV 광자선의 선량률 (dose rate, MU/min)을 400에서 1400 MU/min까지 200 MU/min 단위로 선택하여 사용이 가능하며, 10 MV 광자선의 선량률은 400에서 2400 MU/min까지 400 MU/min 단위로 선택할 수 있다. 임상에서는 체부정위적 방사선치료에 3F beam의 고 선량률을 적용하여 시행하기도 하며 그로 인한 MU의 효율성, 생물학적 효과 그리고 빔 조사시간 감소에 대한 연구 결과들이 보고되고 있다.[4,5,6] 3F beam의 MU 효율성은 표적체적의 크기, 모양, 위치 등 물리적 상태에 따라 MU값의 증감에 영향을 준다고 한다.[7,8]

이에 본 연구는 3F beam을 사용할 수 있는 최신 장비도

본 논문은 2014년 5월 30일 접수하여 2014년 12월 2일 채택되었음.
책임저자 : 구장현, 분당서울대학교병원 방사선종양학과
경기도 성남시 분당구 구미로 173번길 82, 463-707
Tel : 031) 787-2916
E-mail : iloveri@hanmail.net

입에 따라 팬텀을 이용한 가상의 전립선 환자를 대상으로 3F와 2F beam을 이용하여 치료기법에 따른 특성 비교와 환자 측면의 시간적?경제적 유용성을 비교 평가하고자 한다.

대상 및 방법

Alderson rando phantom을 CT simulator (Brilliance Big Bore 16-slice, Philips, Netherlands)로 촬영하여 3 mm 간격의 영상을 획득하였다. 전산화치료계획시스템은 Eclipse (Version 11, Varian Medical System, Palo Alto, USA)를 이용하여 전송된 영상에 가상의 전립선, 정낭, 방광, 직장 그리고 대퇴골 머리의 윤곽을 나타내었으며 전립선과 정낭을 임상표적용적 (clinical target volume, CTV)으로 하여 CTV의 뒤쪽 방향으로 7 mm의 margin를 주고 그 외 모든 방향에서 10 mm의 margin을 더하여 계획표적용적 (planning target volume, PTV)을 생성하였다. 치료계획은 세기변조 방사선치료 (intensity modulated radiation therapy, IMRT), 용적변조 회전방사선치료 (volumetric modulated arc therapy, VMAT) 그리고 체부정위적 방사선치료 (stereotactic body radiation therapy, SBRT)에 3F와 2F beam을 각각 적용하여 총 6개를 수립하였다. 치료계획의 빔 데이터는 TrueBeam™ STx (Varian Medical System, Palo Alto, USA)의 10 MV-2F와 10 MV-3F beam을 사용하였고, 선량률은 2F beam의 치료기법에 600 MU/min과 3F beam을 이용한 치료기법에는 1200 MU/min을 설정하였다. IMRT는 7개의 조사면을 사용하였으며 VMAT과 SBRT의 회전수는 2 회 full arc를 적용하였다. PTV의 처방선량은 IMRT와 VMAT에 일일선량을 2 Gy씩 33 회에 걸쳐 총 66 Gy로 하였고, SBRT는 일일선량을 7.5 Gy씩 5 회에 걸쳐 총 37.5 Gy를 처방하였다. 선량체적 최적화 (dose volume optimization)과정에서 비교가 되는 각 치료계획에 선량체

Fig 1. Setup for measuring photoneutron with Surveillance And Measurement 940

Table 1. The comparison of the number of total monitor units between flattening filter-free and flattening filter beam

unit : MU

	IMRT	VMAT	SBRT
2F beam	811	506	1986
3F beam	1087	553	2228

Abbreviations: MU = monitor unit; IMRT = intensity modulated radiation therapy; VMAT = volumetric modulated arc therapy; SBRT = stereotactic body radiation therapy; 3F = flattening filter-free; and 2F = flattening filter.

적제한 (dose volume constraint)값을 동일하게 적용하였으며 모든 치료계획은 임상적으로 적용되는 치료계획과 동일한 수준으로 수립하였다.

각 치료기법에 대하여 3F와 2F beam의 특성 비교를 위해 총 MU와 beam on time (BOT), gantry rotation time (GRT) 그리고 각 치료기법에서 발생되는 광중성자를 측정하여 비교 분석하였다. BOT, GRT 그리고 광중성자 측정은 TrueBeam™ STx의 빔 자동 조사 기능인 automation function을 적용하여 시행하였다. BOT는 treatment screen에서의 time란에 나타나는 시간을 이용하여 계산하였으며, GRT 측정의 경우 automation function에 의하여 실제 gantry가 움직이기 시작하는 시점과 정지하는 시점을 지정하여 측정하였다. 광중성자 측정은 Surveillance And Measurement (SAM) 940 (Berkeley Nucleonics Corporation, Kerner Blvd, San Rafael, CA)을 이용하여 치료계획상의 isocenter에 Alderson rando phantom을 위치시키고 isocenter로부터 하방 50 cm 떨어진 지점에 SAM 940을 위치시켜 측정하였다. SAM 940은 6LiI type으로 중성자 감속재로 수소함유 물질인 1 cm^2의 polypropylene을 사용하며, 판독값은 net cps (count per second)로 background를 제외한 실제 peak치 범위의 cps를 디지털값으로 나타낸다. BOT, GRT 그리고 광중성자 측정은 총 5회 반복 측정하여 평균값을 비교 분석하였다(Fig. 1).

또한 각 치료기법을 환자에게 적용 시 소요되는 환자의 총 내원기간과 자기부담금을 비교 분석하였다. 내원기간은 주말을 포함하였고, 자기부담금은 국민건강보험법 제 45조 제 4 항의 규정에 의한 "건강보험요양급여비용의 내역"을 2014년 1월 1일 기준으로 전산화치료계획비와 방사선치료비를 합산하여 일반 진료를 받는 환자와 선택 진료를 받는 환자의 자기부담금을 계산하였다.

결 과

Alderson rando phantom을 사용한 가상의 전립선암 방사선 치료기법에 3F와 2F beam의 이용에 따른 총 MU값 비교에서는 3F beam을 사용한 경우 총 MU값이 증가하였다. 특히 IMRT에 2F beam을 사용하였을 때보다 3F beam을 이용한 경우 총 MU값의 증가율은 34.0%로 가장 높았다 (Table 1).

BOT 측정값은 3F beam을 이용한 각 치료기법에서 감소하였으며, SBRT에 3F beam을 적용한 경우 2F beam보다 최대 39.8% 감소하였다. GRT는 3F beam을 SBRT에 사용하였을 때 2F beam에 비하여 가장 많은 38.6%의 감소율을 보였지만, VMAT의 경우 BOT와 GRT 는 3F와 2F beam의 사용에 의한 차이는 거의 없었다. 광중성자는 3F beam을 적용한 치료기법에서 감소하였는데, 특히 SBRT에 3F beam을 적용하였을 때 2F beam에 비하여 감소율이 48.1%로 가장 높았다 (Table 2).

총 내원기간은 치료기법에 따라 3F와 2F beam을 사용한 경우 동일하게 IMRT, VMAT은 45일이었고 SBRT에서 10일이었다. 자기부담금의 경우 일반진료 선택 시 3F와 2F beam의 사용에 따라 IMRT, VMAT에서 699,156원이었고 SBRT에서는 169,560원이었다. 특별진료의 경우 3F와 2F beam의 사용여부와 관계없이 IMRT와 VMAT에서 6,077,277원 그리고 SBRT에서는 1,473,877원이었다.

고안 및 결론

본 연구는 Alderson rando phantom을 사용하여 3F와 2F beam을 이용한 치료기법에 따른 특성 비교와 환자 측면의 시간적 · 경제적 유용성을 비교 평가하였다. 총 MU값은 3F beam을 사용한 모든 치료기법에서 증가하였다. 이는 3F beam의 연화 (softening)현상으로 평균 선질의 저하와 용인 가능한 치료표적의 conformity를 형성하기 위하여 3F

Table 2. The comparison of measurements with beam on time, gantry rotation time and photoneutron

n=15

	BOT (sec)	GRT (sec)	Photoneutron (net cps)
IMRT			
2F	109.72±0.08	193.50±0.11	21.82±2.40
3F	71.60±0.13	141.10±0.15	20.00±3.04
VMAT			
2F	122.00±0.65	126.12±0.18	26.39±1.71
3F	120.80±0.77	124.80±0.11	24.20±0.14
SBRT			
2F	199.40±0.07	202.10±0.07	51.19±0.75
3F	120.00±0.00	124.10±0.07	26.58±0.88

Abbreviations: values above are mean±standard deviation; n = number of measurement; net cps = count per second without background; BOT = beam on time; GRT = gantry rotation time; IMRT = intensity modulated radiation therapy; VMAT = volumetric modulated arc therapy; SBRT = stereotactic body radiation therapy; 3F = flattening filter-free; 2F = flattening filter.

beam의 불균일한 선량 분포를 정형화시키기 위한 beam segment 수가 증가하여 총 MU값이 증가하였다.[7,8] BOT 및 GRT의 측정값은 IMRT와 SBRT에서 3F beam을 사용할 때 2F beam을 이용한 경우보다 상대적으로 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 3F beam을 이용한 치료기법에서 1200 MU/min의 고 선량률 적용과 동시에 gantry의 회전속도를 최대속도로 유지함으로써 치료시간을 감소시켰다. 이러한 점은 많은 MU를 사용하는 치료기법에서 3F beam의 고 선량률을 적용하는 경우 치료시간을 단축시켜 intra-fraction setup error의 감소를 기대할 수 있다.[9] 그러나, VMAT의 경우 SBRT의 측정 결과와 다르게 3F와 2F beam 사용에 의한 BOT 및 GRT의 측정값 차이는 작았다. 이는 일일선량이 2 Gy인 VMAT 치료기법에서 2 회 full arc를 적용하는 경우 각 control points에서 요구되는 MU값들이 3F와 2F beam 조사 방식 간에 차이가 미세하여 3F beam의 고 선량률 효과가 작은 것으로 판단된다.[10] 광중성자 측정값은 3F beam을 적용한 모든 치료기법에서 감소하였으며, 3F beam의 사용은 빔 선속 내에 선속평탄여과판과의 상호작용에 의한 광중성자 발생을 감소시켰다.[3] 내원기간과 자기부담금에 대한 결과는 동일 치료기법에서 3F와 2F beam의 사용에 따른 차이는 없었으나 서로 다른 치료기법 사이에서는 치료기간과 금액의 차이를 보였다.

본 연구 결과, 3F beam의 고 선량률을 이용한 치료기법에서 총 MU값은 증가하였지만 치료시간과 광중성자의 발

Table 3. The total treatment periods and medical fees for practice and special healthcare

	IMRT	VMAT	SBRT
TTP (day)	45	45	10
General practice (won)	699,156	699,156	169,560
Special healthcare (won)	6,077,277	6,077,277	1,473,877

Abbreviations: TTP = total treatment periods; IMRT = intensity modulated radiation therapy; VMAT = volumetric modulated arc therapy; and SBRT = stereotactic body radiation therapy.

생을 줄일 수 있어 intra-fraction setup error 및 2차 방사선 유발암 발생률을 줄이는 효과를 기대할 수 있으나, 동일한 치료기법 내에서 3F와 2F beam 사용에 따른 환자측면의 시간적 · 경제적인 이점은 없었다.

참고문헌

1. Georg D, Kragl G, af Wetterstedt S, McCavana P, McClean B, Kns T. Photon beam quality variations of a flattening filter free linear accelerator. Med Phys 2010;37(1):49-53.
2. Purdy. J: Intensity-modulated radiation therapy: current status and issues of interest. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001; 51:880-914
3. KRY, Stephen F. et al. Reduced Neutron Production Through Use of a Flattening-Filter-Free Accelerator. International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics, 2007, 68.4: 1260-1264.
4. Zhao, B., et al. "SU C BRC 02: Plan Quality and Delivery Efficiency with Varian TrueBeam FFF Mode at High Dose Rate." Medical Physics 38.6 (2011): 3371-3371.
5. Kragl, Gabriele, et al. "Flattening filter free beams in SBRT and IMRT: dosimetric assessment of peripheral doses." Zeitschrift fur Medizinische Physik 21.2 (2011): 91-101.
6. Lohse, Ines, et al. "Effect of high dose per pulse flattening filter-free beams on cancer cell survival." Radiotherapy and Oncology 101.1 (2011): 226-232.
7. Lechner, Wolfgang, Gabriele Kragl, and Dietmar Georg. "Evaluation of treatment plan quality of IMRT and VMAT with and without flattening filter using Pareto optimal fronts." Radiotherapy and Oncology 109.3 (2013): 437-441.
8. Stathakis S, Esquivel C, Gutierrez A, et al. Treatment planning and delivery of IMRT using 6 and 18MV photon beams without flattening filter. Appl Radiat Isot 2009;67:1629e1637.
9. Fu W, Dai J, Hu Y, Han D, Song Y. Delivery time comparison for intensity-modulated radiation therapy with/without flattening filter: a planning study. Phys Med Biol 2004;49(8):1535-47.
10. Zhao, B., et al. "SU C BRC 02: Plan Quality and Delivery Efficiency with Varian TrueBeam FFF Mode at High Dose Rate." Medical Physics 38.6 (2011): 3371-3371.

대한방사선치료학회지 2014 ; 26(2) : 363~368

Abstract

The evaluation of properties for radiation therapy techniques with flattening filter-free beam and usefulness of time and economy to a patient with the radiation therapy

Department of Radiation Oncology, Seoul national university Bundang hospital, Gyeonggi-do, Korea

Jang Hyeon Goo · Hui Su Won · Joo Wan Hong · Nam Jun Chang · Jin Hong Park

Purpose : The aim of this study was to appraise properties for radiation therapy techniques and effectiveness of time and economy to a patient in the case of applying flattening filter-free (3F) and flattening filter (2F) beam to the radiation therapy.

Materials and Methods : Alderson rando phantom was scanned for computed tomography image. Treatment plans for intensity modulated radiation therapy (IMRT), volumetric modulated arc therapy (VMAT) and stereotactic body radiation therapy (SBRT) with 3F and 2F beam were designed for prostate cancer. To evaluate the differences between the 3F and 2F beam, total monitor units (MUs), beam on time (BOT) and gantry rotation time (GRT) were used and measured with TrueBeam™ STx and Surveillance And Measurement (SAM) 940 detector was used for photoneutron emitted by using 3F and 2F. To assess temporal and economical aspect for a patient, total treatment periods and medical fees were estimated.

Results : In using 3F beam, total MUs in IMRT plan increased the highest up to 34.0% and in the test of BOT, GRT and photoneutron, the values in SBRT plan decreased the lowest 39.8, 38.6 and 48.1%, respectively. In the temporal and economical aspect, there were no differences between 3F and 2F beam in all of plans and the results showed that 10 days and 169,560 won was lowest in SBRT plan.

Conclusion : According as the results, total MUs increased by using 3F beam than 2F beam but BOT, GRT and photoneutron decreased. From above the results, using 3F beam can decrease intra-fraction setup error and risk of radiation-induced secondary malignancy. But, using 3F beam did not make the benefits of temporal and economical aspect for a patient with the radiation therapy.

Keyword : Flattening filter-free beam, photoneutron, stereotactic body radiation therapy