

IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy)전달 기법과 FFF(Flattening Filter Free) 빔을 이용한 요철 부위 피부 선량 증가 방법에 대한 고찰

서울특별시보라매병원 방사선종양학과

우현 · 손상준 · 제영완

목 적: 볼루스 적용이 어려운 코와 같은 요철 부위 치료 시 피부 선량 확보에 어려움이 있는 경우, IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy)전달 기법 과 평균 에너지가 낮은 FFF(Flattening Filter Free)를 조합한 치료 계획으로 피부 선량 증가 여부를 팬텀 실험을 통해 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 두경부암 치료시 가장 흔하게 사용하는 6MV-FF(Flattening Filter) VMAT(Volumetric-Modulated Arc Therapy) 치료계획을 기준으로 정하고, VMAT와 IMRT, FF와 FFF, 5 mm 볼루스 적용 유무를 조합하여 비교군을 생성하였다. 란도 팬텀 컷등에 가상 타겟을 생성하였고, 5 mm 의 가상의 볼루스를 란도 팬텀 컷등 위에 완전 밀착을 가정하여 적용하였다. 팬텀의 코를 기준으로 5개 측정지점을 정하고 각각의 치료계획을 치료테크닉과 bolus 적용유무에 맞게 치료계획 당 3회를 조사하여 흡수선량을 측정하였다.

결 과: FF vs FFF 에서의 피부선량 차이는 VMAT bolus off에서 FFF인 경우 증가하였고, IMRT bolus off의 경우 차이를 나타내지 않았다. VMAT bolus 5 mm, IMRT bolus 5 mm에서는 FFF에서 오히려 피부선량이 감소되는 것을 확인 할 수 있었다. VMAT vs IMRT 피부선량 차이는 FFF bolus off 의 경우에만 피부선량이 증가했고, 나머지는 통계적 차이가 없었다. bolus off vs bolus 5 mm 에서의 피부선량 차이는 IMRT FFF 을 사용했을 경우만 제외하고는 모두 bolus 5 mm 에서 피부선량이 증가하는 것을 확인하였다. IMRT와 FFF를 조합한 치료 계획은 통상적으로 사용되는 VMAT와 FF를 사용하여 5 mm 볼루스를 적용한 치료 계획 피부선량의 측정값을 분석한 결과 통계적으로 유의미한 차이를 발견하지 못했다. 따라서 IMRT_FFF 를 사용함으로써 VMAT_FF 에 5 mm 볼루스 적용한 것과 비슷한 수준의 피부선량 전달이 가능할 것이라 사료되며, 이는 높은 피부선량이 필요하지만, 볼루스 적용이 어려운 환자와 같은 경우에 유용할 수 있다.

결 론: 볼루스 적용이 어려운 환자의 경우, VMAT와 FF에 비교하여 IMRT와 FFF를 적절히 조합한 치료 계획으로 피부 선량 증가를 기대할 수 있다.

▶ **핵심용어:** 세기조절방사선치료, 용적세기조절회전방사선치료, 피부선량, FFF(Flattening Filter Free)

서 론

방사선 치료 기술이 발달함에 따라 등장한 IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy)는 기존 치료법들과 비교하

여 정교한 선량 분포를 기반으로 종양 제어율을 높이는 데에 기여하고 있다.⁽¹⁾ IMRT 이후 등장한 VMAT(Volumetric-Modulated Arc Therapy) 는 훨씬 적은 MU 로 치료가 가능하게 되었으며,⁽²⁾ 또한 FF(Flattening Filter)를 제거한 FFF(Flattening Filter Free) 빔이 등장함에 따라 선량률이 증가하여 더욱 빠른 치료가 가능하게 되었다.⁽³⁾ 이러한 장점에도 불구하고 VMAT는 IMRT에 비해 필요시 피부 선량 확보에 불리하며, 특히 볼루스 적용이 어려운 코와 같은 요철

책임저자: 우현, 서울특별시보라매병원 방사선종양학과
서울시 동작구 보라매로5길 20
Tel: 02) 870-1696
E-mail: heonw83@naver.com

부위 치료 시 피부 선량 확보에 어려움이 있다.⁽⁴⁾ 일반적인 볼루스로는 치료 부위에 정확한 밀착이 어려워 생기는 공기층 때문에 피부 선량 확보의 어려움으로 이어진다.⁽⁵⁾ 이를 보완하기 위해 3D 프린터를 이용하여 개인 맞춤 제작한 볼루스를 사용할 수도 있지만, 이는 비용 증가와 시간적 제약이 따른다.⁽⁶⁻⁹⁾ 이러한 단점을 보완하기 위해 IMRT와 평균 에너지가 낮은 FFF를 조합한 치료 계획의 피부 선량 증가 여부를 팬텀 실험을 통해 알아보하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 영상획득

Alderson Rando Phantom(Alderson Research Laboratories, Stamford, USA)을 전산화단층촬영기(CT: Computed Tomography, Bigbore, Philips)에 120kV, 200mA, 3mm Slice thickness, 35 DOFV로 Helical 촬영하였다.

2. 치료계획

두경부암 치료시 가장 흔하게 사용하는 6MV-FF VMAT 치료계획을 기준으로 정하고 비교군 치료 계획을 수립하였다. 비교군은 VMAT와 Fixed Beam IMRT, FF와 FFF, 5 mm 볼루스 적용 유무를 조합하여 생성하였다. 란도 팬텀 코트등 부위에 약 20 cc 가량의 가상 타겟을 생성하였고, 5 mm의 가상의 볼루스를 란도 팬텀 코트등 위에 완전 밀착을 가정하여 적용하였다. 여기에 1 Gy를 전달하는 각 세기 조절 치료 계획을 만들어 최적화 후 no plan normalization 상태에서 측정, 비교하였다. no plan normalization으로 비교한 이유는 target coverage와 PTV homogeneity가 심각하게 떨어지는 플랜들이 있었고, VMAT, FF 플랜 위주로, 이를 특정 coverage로 일괄 적용하면 피부 선량이 과도하게 증가하게 되어 객관적인 피부 선량 검증이 불가능하였다. 그러므로 optimization 끝난 상태 그대로 비교하는 것이 그나마 객관적일 것이라 생각하였고, 또한 optimization 시 objective를 모두 동일하게 설정하였기에 no plan normalization으로 피부 선량을 비교함에 있어 무리가 없다고 판단하였다.

실험에 사용된 치료기는 HD MLC(High-Definition Multileaf Collimator)를 이용한 Truebeam STX (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA)이었으며, 전산화치료계획은 Eclipse V13.7, PO(Photon optimizer v13.7), AcurosXB_13716(Acurus External Beam, Version 13.7)을 사용하였고, 계산 grid는 0.25 cm으로 계산되었다. VMAT 치료 계획은 90-270, 270-90도 2개의 ARC를 사용하였고, IMRT는 90도부터 270도까지 30도 간격의 빔을 총 7개 사용하였다.

3. 흡수선량 측정

Alderson Rando Phantom 팬텀의 코를 기준으로 왼쪽(1), 중앙(2), 오른쪽(3), 위(4), 그리고 아래(5)를 각각 2 cm 간격으로 5개 측정지점으로 정하였다. (Fig. 1).

각각의 치료계획을 치료테크닉과 볼루스 적용유무에 맞게 치료계획 당 3회를 조사하여, 광자극발광선량계(Optically Stimulated Luminescence Dosimeter, OSLD)이 용하여 흡수선량을 측정하였다.

4. 통계 분석

각 지점에서 측정된 값을 등분산 검정 후 대응 표본 t 검정하였다. 유의 수준은 0.05 이하이며 분석에 사용된 프로그램은 excel 2013(Microsoft Office, USA)을 사용하였다.

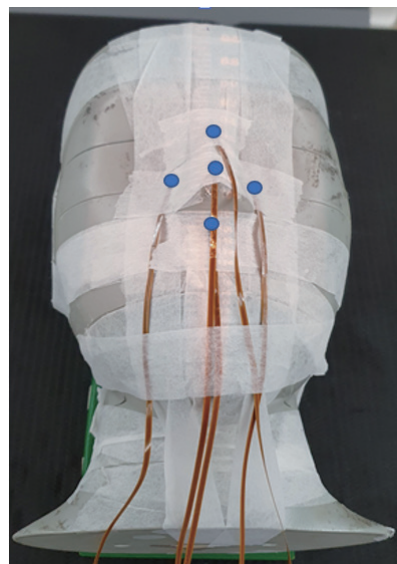


Fig. 1. Total 5 of measurement points on Rando phantom

결 과

FF vs FFF 에서의 피부선량 차이는 VMAT bolus off 에서 FFF인 경우 증가하였고, IMRT bolus off의 경우 차이를 나타내지 않았다. VMAT bolus 5mm, IMRT bolus 5mm에서는 FFF에서 오히려 피부선량이 감소되는 것을 확인 할 수 있었다(Table 1). VMAT vs IMRT 피부선량 차이는 FFF bolus off 의 경우에만 피부선량이 증가했고, 나머지는 통계적 차이가 없었다 (Table 2). bolus off vs bolus 5mm에서의 피부선량 차이는 IMRT FFF 을 사용했을 경우만 제외하고는 모두 bolus 5mm 에서 피부선량이 증가하는 것을 확인하였다(Table 3).

결론 및 고찰

본 논문은 IMRT전달기법과 FFF의 조합으로 요철부위의 피부선량 증가방법에 대해 알아보기 위한 연구로, IMRT_ FFF 를 사용함으로써 VMAT_FF 에 5mm 볼루스 적용한 것

Skin dose

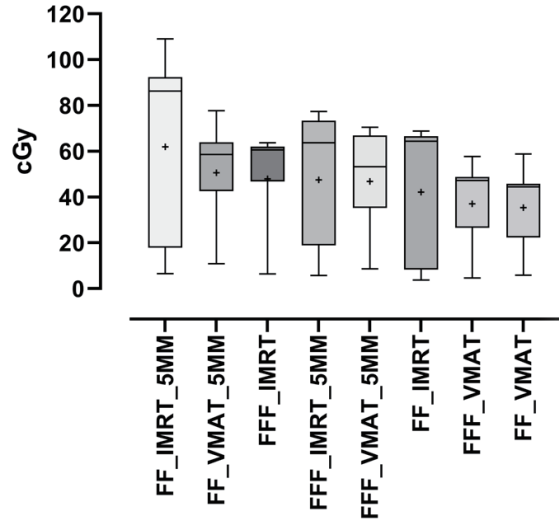


Fig. 2. Distribution of measurements (Each mean value is marking as "+")

과 비슷한 수준의 피부선량 전달이 가능한 것을 확인 하였다(Table 4)(Fig. 2). 또한 VMAT에서 볼루스를 사용하지 않을 때 FFF 를 사용하면 약간이나마 피부선량 증가 효과를

Table 1. Comparison of skin dose difference between FF vs. FFF

(Unit in cGy)

	Mean ± SD		paired t-test	Significantly different (P < 0.05)?
	FF	FFF	p	
VMAT (Bolus off)	35.43±17.26	37.07±19.53	0,0264	Yes
IMRT (Bolus off)	42.2±30.43	47.96±22.12	0,2328	No
VMAT (bolus 5mm)	50.62±22.46	46.88±23.24	0,0024	Yes
IMRT (bolus 5mm)	61.95±42.67	47.55±30.37	0,0007	Yes

Table 2. Comparison of skin dose difference between VMAT vs. IMRT

(Unit in cGy)

	Mean ± SD		paired t-test	Significantly different (P < 0.05)?
	VMAT	IMRT	p	
FF (bolus off)	35.43±17.26	42.2±30.43	0,0757	No
FFF (bolus off)	37.07±19.53	47.96±22.12	<0,0001	Yes
FF (bolus 5mm)	50.62±22.46	61.95±42.67	0,102	No
FFF (bolus 5mm)	46.88±23.24	47.55±30.37	0,8088	No

Table 3. Comparison of skin dose difference between Bolus Off vs. Bolus 5 mm

(Unit in cGy)

	Mean ± SD		paired t-test	Significantly different (P < 0.05)?
	Bolus off	Bolus 5mm	p	
VMAT FF	35.43±17.26	50.62±22.46	<0.0001	Yes
VMAT FFF	37.07±19.53	46.88±23.24	<0.0001	Yes
IMRT FF	42.2±30.43	61.95±42.67	0.0001	Yes
IMRT FFF	47.96±22.12	47.55±30.37	0.9222	No

Table 4. Comparison of skin dose difference between IMRT FFF(bolus off) vs VMAT_FF(bolus 5mm)

(Unit in cGy)

Mean ± SD		paired t-test	Significantly different (P < 0.05)?
IMRT FFF (bolus off)	VMAT_FF (bolus 5mm)	p	
47.96±22.12	50.62±22.46	0.177	No

볼 수 있고, VMAT 과 IMRT 의 치료계획에서는 FFF 를 사용한 경우를 제외하고는 피부 선량 증가에 대한 증거를 찾지 못하였다(Table 2). FFF를 볼루스와 함께 사용 할 경우에는 오히려 피부 선량이 감소하는 결과를 나타내는데, 이는 볼루스가 오히려 저에너지 방사선을 제거하는 역할을 하기 때문에 피부선량이 감소하는 것이라 사료된다(Table 1).

불규칙한 표면에 충분한 선량을 전달하고자 할 때 3D 프린터를 이용하여 개인 맞춤 제작한 볼루스를 사용하는 것이 이상적일수 있지만, 이는 비용 증가와 시간적 제약이 따르거나 3D프린터를 구비하지 못한 기관도 있을 수 있다. 또한 코 부위의 방사선치료 시 코의 피부선량을 높여야 하는 경우 넓은 볼루스를 적용하면 환자분이 코로 숨 쉬는 것을 방해하여 치료하기 어려운 환경이 만들어 질수 있다. 이에 본 연구의 실험 결과를 바탕으로 볼루스를 적용하기 어려운 요철 부위에 IMRT와 FFF를 적절히 조합한 치료 계획으로 피부 선량 증가를 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

1. Ahn YC. "Introduction of intensity modulated radiationtherapy." J. Korean Med. Assoc. 54(11):1172-1178. 2011.
2. Mani KR, Upadhayay S and Das KJM. "Influence of jawtracking in intensity-modulated and volumetric-modulated arc radiotherapy for head and neck cancers: a dosimetric study." Radiation Oncology Journal 35(1):90-100. 2017.
3. 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 37(1):49-53. 2010.
4. Gregory P, PenoncelloGeorge X, Ding. "Skin dose differences between intensity-modulated radiation therapy and volumetric-modulated arc therapy and between boost and integrated treatment regimens for treating head and neck and other cancer sites in patients." Medical Dosimetry Vol. 41Issue 1p80-86 2016.

5. R. J. Kudchadker, J. A. Antolak, W. H. Morrison, P. F. Wong, K. R. Hogstrom, "Utilization of custom electron bolus in head and neck radiotherapy," *Journal of applied clinical medical physics*, Vol. 4, No. 4, pp. 321-333, 2003.
6. S. Y. Park, C. H. Choi, J. M. Park, M. S. Chun, J. H. Han, J. I. Kim, "A Patient-Specific Polylactic Acid Bolus Made by a 3D Printer for Breast Cancer Radiation Therapy," *PloS one*, Vol. 11, No. 12, e0168063, 2016.
7. S. W. Kim, J. W. Kwak, B. C. Cho, S. Y. Song, S. W. Lee, C. Y. Jeong, "Clinical Implementation of 3D Printing in the Construction of Patient Specific Bolus for Photon Beam Radiotherapy for Mycosis Fungoides," *Progress in Medical Physics*, Vol. 28, No. 1, pp. 33-38, 2017.
8. M. Ichikawa, Y. Miyasaka, A. Takagi, Y. Ieko, T. Kanai, K. Suzuki, N. Yano, M. Yamada, M. Harada, H. Akamatsu, K. Nemoto, "Effectiveness of a 3D-Printed Bolus with Gel and Silicon Materials for an Irregularly Shaped Skin Surface," *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, Vol. 105, No. 1, E742, 2019.
9. Y. Kong, T. Yan, Y. Sun, J. Qian, G. Zhou, S. Cai, Y. Tian, "A dosimetric study on the use of 3D-printed customized boluses in photon therapy: A hydrogel and silica gel study," *Journal of applied clinical medical physics*, Vol. 20, No. 1, pp. 348-355, 2019.

A Study on IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) Delivery Technique and FFF (Flattening Filter Free) Beam to Increase Skin Dose to Irregularly Shaped Skin Surface.

Department of Radiation Oncology, Borame Medical Center, Seoul, Korea

Woo Heon, Son Sang Jun, Je Young Wan

Purpose: When it is difficult to secure the skin dose when treating Irregularly Shaped Skin Surface such as the nose where it is difficult to apply a bolus, increase the skin dose with a treatment plan that combines the IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) delivery technique and FFF (Flattening Filter Free), It was tried to find out whether or not through the phantom experiment.

Materials & Methods: Based on the 6MV-FF (Flattening Filter) and VMAT (Volumetric-Modulated Arc Therapy) treatment plans, which are the most commonly used treatment plans for head and neck cancer, A comparison group was created by combining VMAT and IMRT, FF and FFF, and the presence or absence of 5 mm bolus application. A virtual target was created on the Rando Phantom's nose, and a virtual bolus of 5 mm was applied assuming full contact on the Rando Phantom's nose. Five measurement points were determined based on the phantom's nose, and the absorbed dose was measured by irradiating each treatment plan 3 times per treatment plan according to the treatment technique and whether or not the bolus was applied.

Result: The difference in skin dose in FF vs FFF increased in the case of FFF in VMAT bolus off, and there was no difference in case of IMRT bolus off. In VMAT bolus 5 mm and IMRT bolus 5 mm, it was confirmed that the skin dose was rather decreased in FFF. The difference in skin dose between VMAT and IMRT increased only in the case of FFF bolus off, and there was no statistical difference in the rest. For the difference in skin dose between bolus off vs bolus 5 mm, it was confirmed that the skin dose increased at bolus 5 mm, except for the case of using IMRT FFF. The treatment plan combining IMRT and FFF did not find any statistically significant difference as a result of analyzing the measured values of the treatment plan skin dose applied with a 5 mm bolus using the commonly used VMAT and FF. Therefore, it is thought that by using IMRT_FFF, it is possible to deliver a skin dose similar to that of applying a 5 mm bolus to VMAT_FF, which can be useful for patients who need a high skin dose but have difficulty applying a bolus.

Conclusion: For patients who find it difficult to apply bolus, an increase in skin dose can be expected with a treatment plan that properly combines IMRT and FFF compared to VMAT and FF.

▶ **Keywords:** IMRT, VMAT, Skindose, FFF(Flattening Filter Free)