

변형 근치적 유방절제술 시행 환자의 방사선 치료 시 3D-bolus와 step-bolus의 비교 평가

강남세브란스병원 방사선종양학과

장원석 · 박광우 · 신동봉 · 김종대 · 김세준 · 하진숙 · 전미진 · 조윤진 · 정인호

목 적 : 변형 근치적 유방절제술(modified radical mastectomy, MRM)후 흉벽에 전자선 치료를 받는 환자에게 3D-bolus와 step-bolus를 각각 적용하여 유용성을 비교 평가하였다.

대상 및 방법 : 본 연구는 광자선과 전자선을 이용한 역하키스티크법 방식으로 치료계획이 수립된 총 6명의 유방암 환자를 대상으로 하였다. 전방흉벽에 대한 전자선 처방선량은 회당 180 cGy로 3D 프린터(CubeX, 3D systems, USA)로 제작된 3D-bolus와 본원에서 자체 제작한 기존의 step-bolus를 적용하였다. 3D-bolus와 step-bolus에 대한 표면선량은 GAFCHROMIC EBT3 film (International specialty products, USA)을 이용하여, bolus의 다섯 측정지점(iso-center, lateral, medial, superior, and inferior)에 대한 선량 값을 통해 비교 분석하였다. 또한 3D-bolus와 step-bolus 적용에 따른 치료계획을 각각 수립하여 그 결과를 비교하였다.

결 과 : 표면선량은 3D-bolus 적용 시 평균 179.17 cGy이고 step-bolus는 172.02 cGy였다. 처방선량 180 cGy에 대한 평균 값의 오차율은 3D-bolus 적용 시 -0.47%이고 step-bolus는 -4.43%였다. 측정지점 iso-center에서의 오차율은 3D-bolus 적용 시 최대 2.69%의 차이를 보였고, step-bolus는 5.54%였다. 치료의 오차범위는 step-bolus에서 약 6%이고, 3D-bolus는 약 3%였다. 치료계획을 통해 비교한 흉벽의 평균 표적선량은 0.3%로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 폐와 심장의 평균 표적선량은 step-bolus에 비해 3D-bolus에서 -11%와 -8%로 감소하였다.

결 론 : 본 연구 결과로 볼 때 흉벽에 대한 피부표면의 접촉면이 고려된 3D-bolus는 step-bolus에 비하여 환자 피부에 잘 밀착되고, 정밀한 흉벽두께 보상이 가능하기 때문에 선량 균일성이 향상됨을 확인하였다. 또한 흉벽에 대한 선량은 동일하지만 인접장기의 선량을 감소시켜 정상조직을 더 많이 보호함으로써 3D-bolus가 임상적으로 유용한 보상체로 사용될 것으로 사료된다.

핵심용어 : 3D 프린터, 3D-bolus, 흉벽

서 론

유방암 환자의 방사선치료기법 중 변형 근치적 유방절제술(modified radical mastectomy, MRM) 후 시행되는 방사선조사 영역은 쇄골상부림프절, 내유림프절, 액와림프절, 그리고 흉벽 등이다. 이들 방사선조사 영역 후방에 인접한 폐는 치료 후 방사선폐렴을 야기할 수 있고¹⁾, 이로 인해 환자 삶의 질이 저조해 질 수 있다. 방사선 폐렴은 방사선 치료에서 볼 수 있는 합병증으로, 이를 최소화하기 위한 세심한 방사선치료기법의 중요성이 더욱 커지고 있다²⁾.

본원에서는 변형 근치적 유방절제술 후 시행하는 방사선

치료기법으로 역하키스티크법 방식을 사용하고 있다. 이 방법은 내유림프절 및 전방 흉벽에 전자선이 조사되는데³⁾, 전자선은 80% 심부선량 밑에서 선량이 급격히 감소되기 때문에 흉벽부위의 치료에 흔히 사용되고 있다⁴⁾. 전자선으로 흉벽 치료 시 흉벽의 두께가 얇고 불균등하기 때문에 흉벽과 후방에 위치한 폐에서 불균일한 선량분포가 발생한다⁵⁾. 현재, 이를 극복하기 위해 흉벽 표면에 상품화된 bolus(조직등가물질)로 자체 제작한 조직보상체를 사용하여 흉벽 두께를 보상할 수 있는 step-bolus가 사용되었다. 하지만 환자의 일정하지 않은 체표면 때문에 step-bolus를 사용하게 되면 피부와 bolus 사이에 불필요한 공기층이 발생되고, 표면선량과 중심축 심부선량 감소의 원인이 된다⁶⁻⁷⁾.

최근, 3D 프린터 기술의 급속한 발전과 보급으로 인하여 3D-bolus가 제작되고 그 유용성에 대한 연구결과가 발표되고 있다⁸⁻⁹⁾. 이에 본 연구에서는 3D 프린터를 사용하여

본 논문은 2016년 3월 31일 접수하여 2016년 6월 23일 채택되었음.

책임저자 : 장원석, 강남세브란스병원 방사선종양학과
서울특별시 강남구 언주로 211
Tel : 02) 2019-3786
E-mail : WSJ13@yuhs.ac

step-bolus 사용 시 발생하는 공기층을 감소시키고, 조사야 내 흉벽 두께차이를 보다 정밀하게 보상할 수 있는 조직보상체(3D-bolus)를 제작하였다. 본 연구의 목적은 3D-bolus와 step-bolus를 적용하여 치료 시 발생하는 공기층을 확인하고 선량 값을 측정하여 비교 분석하고자 한다.

대상 및 방법

3D 프린터(CubeX, 3D systems, USA)로 제작한 bolus를 총 6명의 유방암 환자에게 적용하여 그 실효성을 확인해 보았다. 환자는 모두 변형 근치적 유방절제술 후 방사선 치료를 시행하였으며, 치료영역 윤곽설정은 방사선종양학과 전공의가 치료계획컴퓨터(MIM version 6.5.8, MIM software, USA)로 쇄골상부림프절, 내유림프절, 액와림프절, 그리고 흉벽을 포함한 계획목표체적(planning target volume, PTV)을 설정하였다. 3D-bolus 제작을 위한 윤곽설정은 처방선량의 95-90%영역이 흉벽을 포함하고, 폐에는 처방선량의 90%이하가 조사될 수 있게 설정하여 불규칙한 체표면을

보상하였다. 해당 환자의 모든 윤곽설정 후, 전산화치료계획시스템(Ray station, Sweden)에 전송하여 치료계획을 시행하였다. 역하키스틱법을 적용해 광자선 6MV와 전자선 6~12MeV으로 계획하고, 계획목표체적의 95%용적에 처방선량(180 cGy씩 28회, 총 50.4 Gy)의 95%가 조사되도록 계획하였다.

1. 3D-bolus 제작

3D-bolus의 제작은 환자의 전산화단층촬영(computed tomography, CT)영상을 기초로 하였다. 환자의 치료자세 설정 후 CT (Somatom Definition AS, SIEMENS, Germany) 촬영하고, 획득한 영상을 디지털 의료 영상 전송장치(digital imaging and communications in medicine, DICOM)파일로 만들어 MIM으로 전송한다. MIM 사용하여 3D-bolus의 윤곽을 설정하고 그 위에 iso-center를 표시한다. 설정을 마친 DICOM파일을 Ray station으로 전송해 3D-bolus 제작물질의 밀도 값에 맞는 선량 계산을 하고, 치료계획을 수립한다. 치료계획을 마친 DICOM파일을 3D

Fig 1. (a) Conceptual demonstration for 3D-bolus, and (b) 3D-bolus producing process in blender.

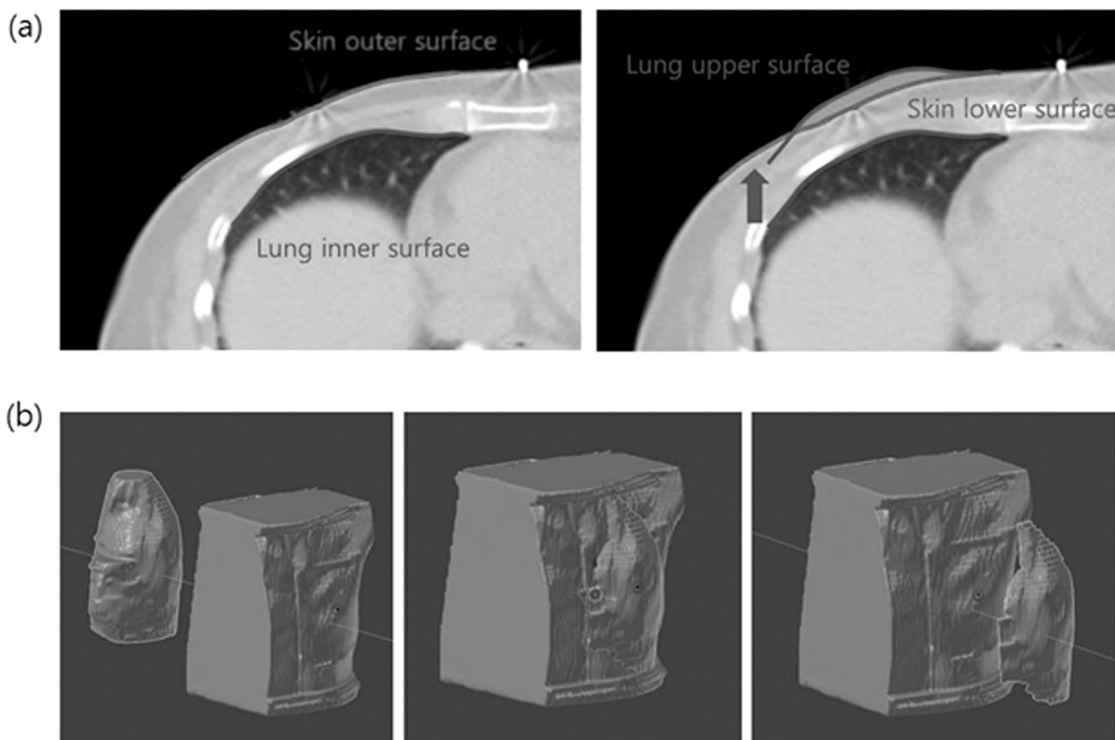


Fig 2. Process view of (a) 3D-bolus STL file, and (b) conversion file by 3D printer.

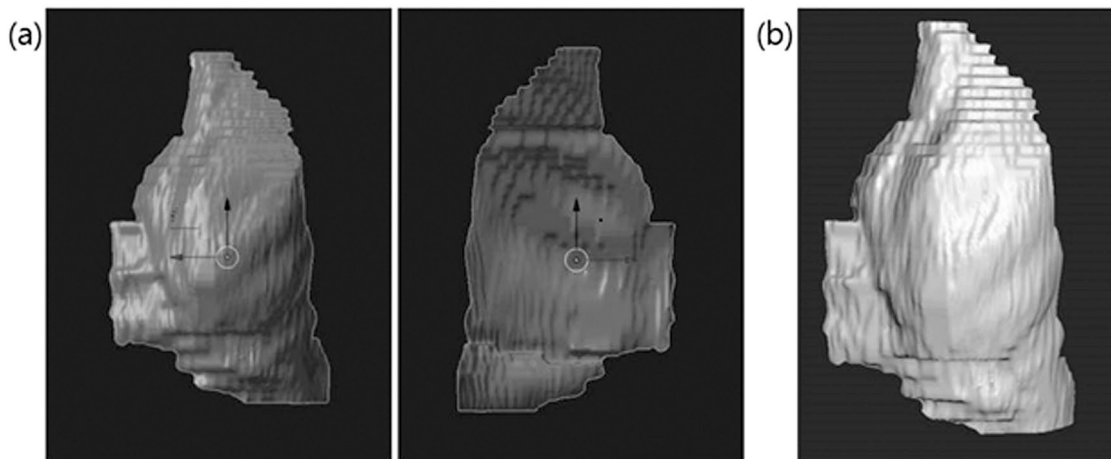
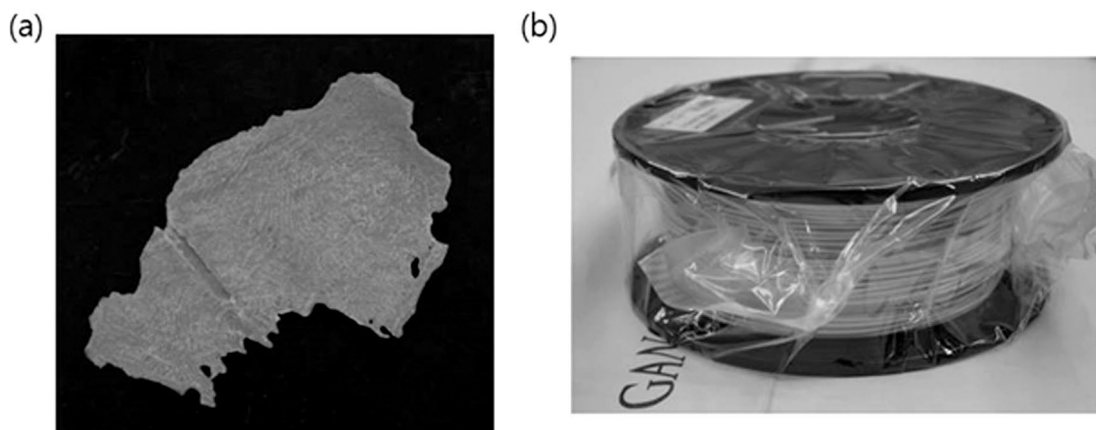


Fig 3. (a) The completed 3D-printer output, and (b) 3D printing material: stereo lithography (STL).



Slicer (open source software) 프로그램을 사용하여 stereo lithography (STL) 파일로 변환시킨 후, Blender (open source software) 프로그램을 사용하여 환자의 폐 부분과 몸통 부분으로 각각 분리시킨다. Blender를 통해 분리시킨 폐의 표면을 겉면으로 하고, 몸통 표면을 피부 접촉면으로 하는 3D-bolus를 제작한다(Fig. 1). 제작한 3D-bolus 파일을 KISSlicer (open source software) 프로그램을 사용해 3D 프린터에 맞는 출력형식으로 변환하고(Fig. 2), poly lactic acid (PLA) 물질을 사용하여 출력한다(Fig. 3). 3D-bolus 제작 시 3D 프린터 매개변수를 30 mm/s의 출력속도와 0.5 mm의 layer 두께로 적용하여, 3D-bolus 제작에 소요되는 총 시간을 평균 6시간 이내로 하였다. 보다 정밀한 설정으로 제작 시 소요되는 시간이 평균 2배 이상 증가하기 때문

에 위와 같은 값으로 3D 프린터의 출력 속도를 설정하였다. 본원에서 사용하는 3D 프린터는 노즐 안에서 PLA 물질을 녹인 후 밑에서부터 쌓아 제작하는 적층제조법(Fused deposition modeling, FDM) 방식이기 때문에, 3D-bolus 출력 후에도 bolus 지지대와 bolus를 분리하는 작업이 필요하다. 또한 환자 피부 위에 적용되는 특성 때문에 사포를 사용하여 표면을 부드럽게 손질해야 하는 부수작업이 필요하고, bolus 위에 iso-center을 정확히 표시하는 작업까지 포함하여 제작 시간은 하루 정도가 소요된다.

2. 필름 측정

선형가속기(Versa HD, Elekta, England)를 사용하여 치

료 첫째 날 step-bolus를 위치시켜 흉벽 선량을 측정하고, 둘째 날 3D-bolus를 적용하여 측정하였다. 3D-bolus의 위치확인을 위해 전산화 단층촬영(cone beam computerized tomography, CBCT)영상을 이용하여 치료계획 시 위치한 3D-bolus와 실제 3D-bolus를 비교해 정확하게 위치시켰다. 또한 생길 수 있는 공기층을 최소화하기 위해 3D-bolus와 피부 사이에 젤(Progel, Dayo medical, Korea)을 발라 발생 가능한 오류를 최소화하였다. 정확한 선량 확인을 위해 GAFCHROMIC EBT3 (International specialty products, USA)필름을 사용하여 빔 중심축과 그 외 네 개의 지점에서 표면선량을 측정하였다(Fig. 4).

3. 공기층 확인

치료계획 시 3D-bolus 윤곽 형성된 영상과 실제 CBCT 영상을 비교해 3D-bolus의 위치설정 및 공기층 발생여부를 확인하였다(Fig. 5).

결 과

1. Bolus 적용에 따른 필름 측정 값

Table 1은 3D-bolus와 step-bolus 적용 시 필름을 위치시킨 다섯 측정지점(iso-center, medial, lateral, superior, inferior point)에 대한 측정 결과를 보여주고 있다. iso-center point의 측정 값은 3D-bolus 사용 시 환자 순서대로 182.98, 182.60, 183.66, 183.87, 184.85, 180.71 cGy이고, step-bolus는 177.56, 182.98, 174.75, 182.60, 186.84, 183.66 cGy였다.

2. 환자 별 측정 값의 평균과 표준편차

Table 2는 각 환자 별 측정선량에 대한 평균 값과 표준편차를 나타내고, 처방선량에 대한 평균 값의 오차율(%)을 보여주고 있다. 3D-bolus 측정 값은 환자 순서대로 176.72,

Fig 4. (a) Measurement points: C = center; L = lateral; M = medial; S = superior; I = inferior point, (b) An example of In-vivo measurement by using step-bolus, (c) An example of In-vivo measurement by using 3D-bolus.

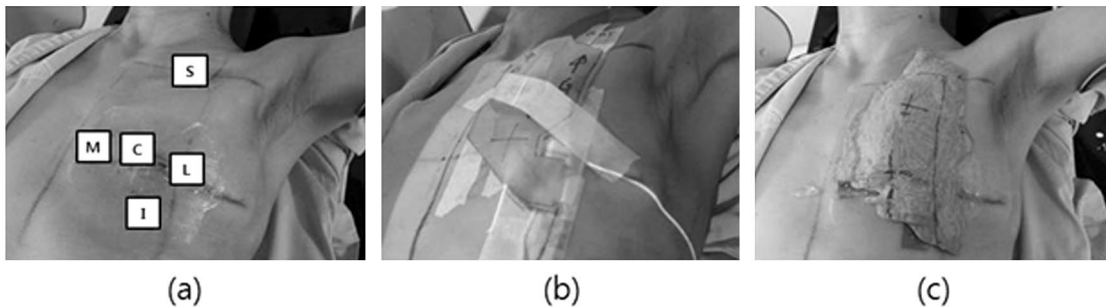


Fig 5. CBCT image: (a) sagittal plane of the 3D-bolus applied to the patient's skin, (b) transverse plane of the 3D-bolus applied to the patient's skin.

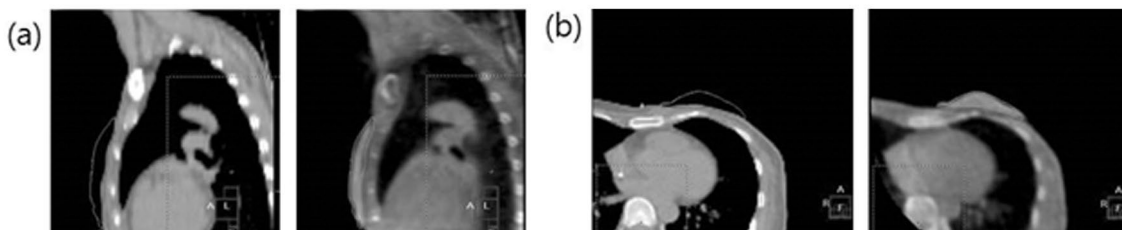


Table 1, The comparison of measured dose for bolus type

(Unit : cGy)

Patients	Measurement points									
	iso-center		medial		lateral		superior		inferior	
	3D	step	3D	Step	3D	step	3D	step	3D	step
1	182.98	177.56	171.07	167.66	178.87	161.90	178.62	170.70	171.56	160.37
2	182.60	182.98	152.52	171.07	177.76	178.87	182.25	178.62	176.65	171.56
3	183.66	174.75	180.51	152.52	176.45	177.76	178.63	182.25	181.59	176.65
4	183.87	182.60	179.86	180.51	184.45	176.45	188.25	178.63	174.67	181.59
5	184.85	186.84	175.18	179.86	175.15	184.45	177.63	188.25	164.11	174.67
6	180.71	183.66	174.62	175.18	179.58	175.15	179.98	177.63	176.25	164.11

Abbreviations: 3D = 3D-bolus; step = step-bolus

Table 2, The mean, standard deviation and error rate of the measured value for the prescribed dose

Patients	Mean (cGy)		Standard deviation (cGy)		Error rate (%)	
	3D	step	3D	Step	3D	step
1	176.62	167.64	4.60	6.22	-1.88	-6.87
2	179.96	172.79	2.19	10.43	-0.02	-4.01
3	175.15	182.81	6.33	4.97	-2.70	1.56
4	180.32	178.65	3.24	2.90	0.18	-0.75
5	182.10	166.89	2.31	9.87	1.16	-7.28
6	180.84	163.36	1.32	7.24	0.47	-9.24

Abbreviations: 3D = 3D-bolus; step = step-bolus

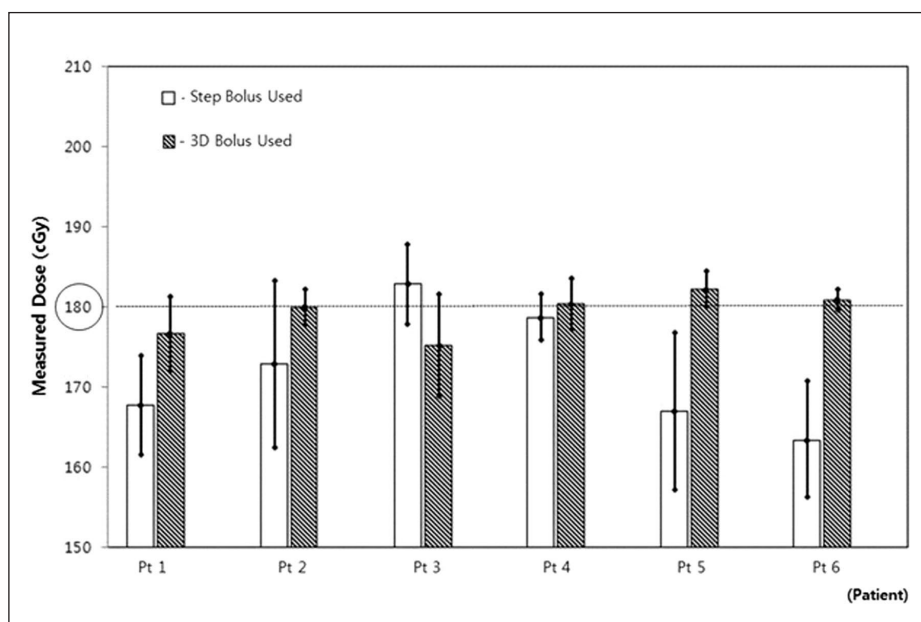


Fig 6.

In-Vivo measurements of 5 skin dose for each patient. Based on the value of STD (error bar), the uniformity of dose distribution on chest skin for the use of 3D-bolus was improved compared to that for the use of step-bolus. Also, overall average value for the use of 3D-bolus was closer to prescribed dose.

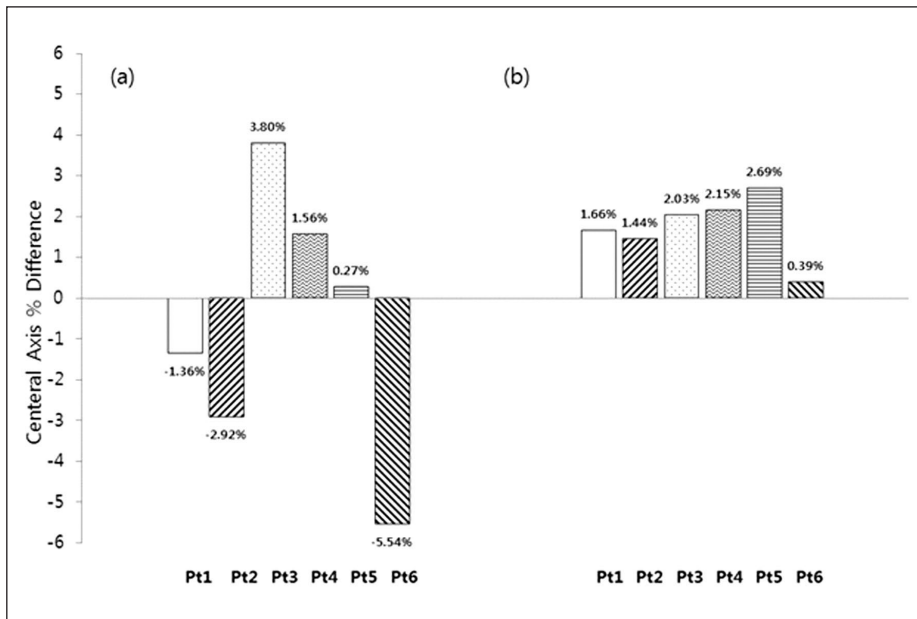


Fig 7. Measured dose at iso-center point: The precision was improved to the 3%-level in 3D-bolus. In step-bolus, precision level showed 5%-level.

179.96, 175.15, 180.32, 182.10, 180.84 cGy이고 step-bolus는 167.64, 172.79, 182.81, 178.65, 166.89, 163.36 cGy였다. 처방선량에 대한 평균 값의 오차율은 3D-bolus에서 최대 -2.70%, step-bolus에서 최대 -9.24%를 나타냈다.

Figure. 6은 각 환자의 측정 값에 대한 평균과 표준편차를 그래프로 보여주고 있다. 평균 값은 적용된 3D-bolus가 step-bolus에 비해 계획된 처방선량인 180 cGy에 근접하게 나타났다. 표준편차는 3D-bolus 사용 시 최대 6.33 cGy이고, step-bolus는 10.43 cGy로서 3D-bolus 적용에서 작은 편차가 나타났다. 이를 통해 3D-bolus의 불확실성이 step-bolus 보다 작게 나타남을 확인하였다. 처방선량에 대한 측

정 값의 오차율은 3D-bolus 적용 시 평균 -0.47%, step-bolus 적용 시 평균 -4.43%로 3D-bolus가 step-bolus 보다 균일성이 높았다.

3. 처방선량에 대한 iso-center point에서의 오차율

처방선량에 대한 iso-center point 측정 값의 오차율은 3D-bolus의 경우 최대 2.69%의 차이를 보인 반면, step-bolus는 최대 5.54%로 차이가 비교적 크게 나타났다. 이를 통해 step-bolus를 통한 치료는 6% 범위의 오차가 발생하는 것을 알 수 있고, 3D-bolus는 3% 범위의 오차가 발생하는

Table 3. Comparison of the chest wall dose statistics and conformity index value for bolus type

Patients	Dmax(Gy)		Dmin(Gy)		Dmean(Gy)		CI	
	3D	step	3D	Step	3D	step	3D	step
1	57.05	58.40	24.36	24.29	48.13	48.17	0.89	0.88
2	55.28	57.11	28.82	28.75	48.62	48.81	0.91	0.91
3	57.79	60.50	24.03	24.08	49.60	49.58	0.95	0.93
4	51.93	54.97	25.37	26.03	46.33	47.28	0.79	0.82
5	56.92	58.37	23.66	24.78	48.00	49.77	0.86	0.94
6	60.04	62.32	35.07	21.39	50.30	50.21	0.99	0.99

Abbreviations : Dmax = maximum dose of the target volume; Dmin = minimum dose of the target volume;

Dmean = mean dose of the target volume; CI = conformity index; 3D = 3D-bolus; step = step-bolus

치료인 것을 확인 할 수 있다(Fig. 7).

4. 선량 비교

Table 3은 선량 체적 분포도(dose-volume histogram, DVH)을 통해 나타나는 흉벽 선량과 동형지수(conformity index_{RTOG}, CI)를 보여주고 있다. 미국 방사선종양학 임상 연구회(radiation therapy oncology group, RTOG)의 기준에 따른 동형지수는 1에 가까울수록 이상적인 선량분포 일치도를 나타낸다(Eq. 1)¹⁰⁾. 흉벽에 대한 3D-bolus와 step-bolus의 선량 값은 큰 차이를 나타내지 않고 비슷하였다.

동형지수는 3D-bolus와 step-bolus 모두 1에 가까운 수치를 보이며 서로 비슷한 값을 나타냈다.

Table 4는 선량 체적 분포도를 통해 흉벽 아래 위치한 폐와 심장에 조사되는 선량 비교를 나타내고 있다. 3D-bolus 적용 시 폐와 심장의 평균 표적선량이 모두 감소하였고 폐에서 최대 20%, 심장에서 최대 15% 정상조직에 대한 선량 감소가 나타났다.

Table 5는 3D-bolus와 step-bolus를 적용하였을 때, 폐에 처방선량 10, 20, 30, 40% 이상의 선량이 조사되는 체적을 나타내고 있다. 처방선량 영역에 포함되는 폐의 체적은 3D-bolus 보다 step-bolus 적용 시 더 크게 나타났다.

$$\text{Eq 1. } \text{Conformity index}_{\text{RTOG}} = \text{TV}_{\text{RI}}/\text{TV}$$

Abbreviations: TV_{RI} =target volume covered by the reference isodose, and TV = target volume

Table 4. Comparison of lung and heart dose statistics for bolus type

Patients	D _{mean} (Lung)			D _{mean} (Heart)		
	3D	step	Error(%)	3D	step	Error(%)
1	6.88	7.00	-1.7	5.19	5.24	-1.0
2	9.22	10.28	-10.3	2.22	2.38	-6.8
3	5.17	5.19	-0.3	4.30	4.40	-2.2
4	7.96	8.25	-1.5	1.71	1.66	3.2
5	8.02	10.02	-20.0	4.65	5.45	-15.0
6	12.17	14.13	-14.0	4.81	5.66	-15.0

Abbreviations: D_{mean} = mean dose of the target volume; 3D = 3D-bolus; step = step-bolus;

Error(%) = percentage difference of 3D-bolus compared to step-bolus

Table 5. The comparison of lung volume that received the prescribed dose for bolus type

Patients	V _{10%} (%)		V _{20%} (%)		V _{30%} (%)		V _{40%} (%)	
	3D	step	3D	Step	3D	step	3D	step
1	32.81	33.66	21.99	22.42	16.11	16.37	12.29	12.48
2	33.12	35.34	26.61	28.78	22.63	24.73	19.55	21.61
3	22.24	22.45	15.55	15.60	11.91	11.92	9.29	9.24
4	36.02	36.50	27.92	28.32	22.48	22.99	17.71	18.48
5	31.32	38.19	23.43	28.34	19.20	23.15	16.19	19.76
6	47.47	54.29	36.75	42.06	30.46	34.84	25.73	29.65

Abbreviations: V_{10%} = the lung volume that received over 10% of the prescribed dose;

3D = 3D-bolus; step = step-bolus

고찰 및 결론

유방암의 변형 근치적 유방절제술 후 시행하는 흉벽의 전 자선치료는 크게 두 가지를 고려해야 한다. 첫째, 불균일한 흉벽 체적에 최소한의 처방선량 이상을 조사하는 것과 둘째는 흉벽 주변에 인접한 폐나 심장의 선량을 최소화 하여 방사선치료로 인한 후유증을 감소시키는 것이다. 방사선치료로 인해 정상조직(폐나 심장)에 많은 양의 방사선이 조사되면, 방사선치료 후유증이 발생하고 이로 인해 생존율에 영향을 미치는 것이 기존 연구결과를 통해 확인되었다¹¹⁻¹²⁾. 따라서 방사선치료로 인한 후유증을 최소화하고 환자들의 삶의 질을 높이기 위하여 치료영역의 정확한 선량조사와 함께 주변 정상조직의 선량을 최소화하기 위한 노력이 필요하다.

흉벽의 전자선 치료 시 흉벽의 두께는 불균일하기 때문에, 조사야 내 인접한 정상장기인 폐와 심장에 방사선조사가 불가피하게 발생한다. 이를 보완하기 위하여 본원에서는 1cm²간격으로 흉벽 두께 측정을 통하여 조사야 내 전체 흉벽 두께를 보상할 수 있는 step-bolus를 제작하였다. 그러나, 임상적으로 step-bolus를 사용하는 과정에서, 수술 부위의 흉터와 불균등한 체표윤곽으로 인하여 체표면과 bolus 사이에 공기층이 발생된다는 점을 확인하였다. 또한 조사야 중심축과 step-bolus 중심축을 일치시키는 과정에서, 위치 확인을 잉크로 표시한 피부 경계선을 기준으로 수행되는 한계가 있었다. 이와 같이 본 연구에서는 이를 보완하고 흉벽 두께 차이가 큰 환자의 경우에도 정밀한 흉벽 두께 보상이 가능한 조직보상체를 제작함으로써, 상품화된 bolus로 제작한 step-bolus가 갖는 단점을 줄이고 균일한 선량분포를 얻고자 하였다.

환자의 체표윤곽을 피부 접촉면으로 하는 3D-bolus를 제작하는 과정에서, 3D 프린터의 적층제조방식은 출력물의 지지대가 함께 출력되기 때문에 체표윤곽을 위로 향하고 폐윤곽을 아래로 향하게 하여 출력하였다. 이로 인하여 매끄러운 부분이 환자 접촉면이 되어 3D-bolus 접촉으로 인한 피부 손상을 방지할 수 있었다. 또한 수술로 인한 들출과 함몰이 존재하는 체표윤곽에 step-bolus를 적용 시 공기층이 발생하였지만, 3D-bolus 적용 시 함몰 부위나 수술 흉터자국이 오히려 피부표면과 3D-bolus 접촉면의 기준점이 되어 위치 재현이 좋다는 점을 확인하였다. 최종적으로 3D-bolus에 표시된 iso-center을 기준으로 위치를 재확인하고, 치료 전 CBCT를 통해 최종 확인하였다. 공기층 발생을 줄

이기 위한 방법으로 3D-bolus와 피부표면에 밀도 1.02 g/cm³ 인 젤을 얇게 도포하여 오차를 최소화하였다. 본 연구에서 3D-bolus는 step-bolus에 비하여 기존 치료 5% 수준의 오차율 발생을 3% 수준으로 줄일 수 있었다. 이를 통하여 흉벽에 인접한 정상 장기의 흡수선량을 감소시켜 정상 조직을 보호할 수 있을 것으로 예상된다.

3D-bolus의 구성물질인 PLA는 조직등가물질은 아니지만, 전산화 치료계획시스템을 이용한 선량계획 시 설정된 밀도 값에 맞는 선량 계산이 가능하다. 그러나 전산화 치료 계획시스템에 등록된 물질에는 PLA가 존재하지 않기 때문에 PLA와 밀도가 가장 유사한 poly methyl methacrylate (PMMA)물질로 대체하여 선량계산을 하였다. PLA 밀도는 1.25 g/cm³이고 PMMA 밀도는 1.19 g/cm³로, 두 밀도 값의 차이로 인한 측정값의 불확실성이 발생한다. 이러한 불확실성을 보완하기 위해 PLA보다 조직등가물질에 가까운 밀도 1.05 g/cm³의 acrylonitrile butadiene styrene copolymer (ABS)를 적용하였으나, 5 cm 이상 되는 큰 3D-bolus 제작 시 수축되어 모양이 휘어지는 문제점이 발생해 본 연구에서는 PLA물질을 적용하였다. 향후 3D 프린터 사용이 확산되어 방사선치료에 많이 사용된다면 PLA, ABS와 같은 물질의 등록이 필요할 수 있다.

조직보상체 제작 방식 중 하나로 밀링머신(milling machine)과 왁스(wax)를 이용한 방법 또한 방사선치료에 유용한 것으로 보고되었으나¹³⁾, 본 연구에서 적용된 방식은 그 편리성이나 경제적인 측면에서 다른 임상 적용에 권할 만하다고 할 수 있다. 또한 CT image와 MR image까지 3D printing을 하는 모든 경우에서 본 연구에 사용된 방식은 적용 가능하고, 다른 복잡한 형태의 조직보상체 적용이 가능할 것으로 본다.

결과적으로 변형 근치적 유방절제술을 시행한 환자의 흉벽 치료뿐만 아니라, 다양한 치료 부위에서도 3D 프린터로 제작한 조직보상체를 적용하는 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. Price A, Jack WJK, Kerr GR, Rodger A. Acute radiation pneumonitis after postmastectomy irradiation: Effect of fraction size. Clin Oncol, 1994;30:33-42
2. Jae Ho Cho. The benefit of individualized custom

- bolus in the postmastectomy radiation therapy: Numerical analysis with 3-D treatment planning. M.S. Dissertation, Yonsei university college of medicine, 2001;4:2-3
3. Pezner RD, Lipsett JA, Forell B, Vora NL, Desai K, Wong JY, Luk KH. The reverse hockey stick technique: Postmastectomy radiation therapy for breast cancer patients with locally advanced tumor presentation or extensive loco-regional recurrence. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1989;17:191-197
 4. Tapley N, ed. *Clinical applications of the electron beam*. New York, John Wiley & Sons, 1976.
 5. Veronesi U, Saccozzi R, Del Vecchio M: Comparing radical mastectomy with quadrantectomy, axillary dissection, and radiotherapy in patients with small cancers of the breast. *N Engl J Med*, 1981;305:6
 6. Sharma S. C, Johnson M. W: Surface dose perturbation due to air gap between patient and bolus for electron beams. *Medical physics*, 1993;20,377-378
 7. M. Kong, L. Holloway: An investigation of central axis depth dose distribution perturbation due to an air gap between patient and bolus for electron beams. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 2007;30,111-119
 8. S. M. Fuller, D. R. Butz, C. B. Vevang, M. V. Makhlof: Application of 3-dimensional printing in hand surgery for production of a novel bone reduction clamp. *J Hand Surg Am*, 2014;39,1840-1845
 9. Zhiwei Dong, Qihong Li, Shizhu Bai, Li Zhang: Application of 3-Dimensional Printing Technology to Kirschner wire Fixation of Adolescent Condyle Fracture. *J Oral Maxillofac Surg*, 2015;14
 10. Loic Feuvret, Georges Noel, Jean-Jacques Mazeron and Pierre Bey: Conformity Index: a review. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys*, Vol.64, No. 2. pp. 333-342, 2006
 11. Cuzick J, Stewart H, Rutqvist L, Houghton J, Edwards R, Redmond C, Peto R, Baum M, Fisher B, Host H, Lythgoe J, Ribeiro G, Scheurlen H: Cause-specific mortality in long-term survivors of breast cancer who participated in trials of radiotherapy. *J Clin Oncol*, 1994;12:447-453
 12. Rutqvist L, Lax J, Fornander T, Johansson H: Cardiovascular mortality in a randomized trial of adjuvant radiation therapy versus surgery alone in primary breast cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1992;22:887-896
 13. Humphries Stephen M, Boyd Karen, Cornish Patricia, Newman Francis D: Comparison of super stuff and paraffin wax bolus in radiation therapy of irregular surfaces. *Medical Dosimetry Vol.21 No.3*;155-157

Abstract

Comparison and evaluation between 3D-bolus and step-bolus, the assistive radiotherapy devices for the patients who had undergone modified radical mastectomy surgery

Department of Radiation Oncology, Gangnam Severance Hospital, Seoul, Korea
Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center, Severance Hospital

Wonseok Jang, Kwangwoo Park, Dongbong Shin, Jongdae Kim,
Seijoon Kim, Jinsook Ha, Mijin Jeon, Yoonjin Cho, Inho Jung

Purpose : This study aimed to compare and evaluate between the efficiency of two respective devices, 3D-bolus and step-bolus when the devices were used for the treatment of patients whose chest walls were required to undergo the electron beam therapy after the surgical procedure of modified radical mastectomy, MRM.

Materials and Methods : The treatment plan of reverse hockey stick method, using the photon beam and electron beam, had been set for six breast cancer patients and these 6 breast cancer patients were selected to be the subjects for this study. The prescribed dose of electron beam for anterior chest wall was set to be 180 cGy per treatment and both the 3D-bolus, produced using 3D printer(CubeX, 3D systems, USA) and the self-made conventional step-bolus were used respectively. The surface dose under 3D-bolus and step-bolus was measured at 5 measurement spots of iso-center, lateral, medial, superior and inferior point, using GAFCHROMIC EBT3 film (International specialty products, USA) and the measured value of dose at 5 spots was compared and analyzed. Also the respective treatment plan was devised, considering the adoption of 3D-bolus and step-bolus and the separate treatment results were compared to each other.

Results : The average surface dose was 179.17 cGy when the device of 3D-bolus was adopted and 172.02 cGy when step-bolus was adopted. The average error rate against the prescribed dose of 180 cGy was -(minus) 0.47% when the device of 3D-bolus was adopted and it was -(minus) 4.43% when step-bolus was adopted. It was turned out that the maximum error rate at the point of iso-center was 2.69%, in case of 3D-bolus adoption and it was 5.54% in case of step-bolus adoption. The maximum discrepancy in terms of treatment accuracy was revealed to be about 6% when step-bolus was adopted and to be about 3% when 3D-bolus was adopted. The difference in average target dose on chest wall between 3D-bolus treatment plan and step-bolus treatment plan was shown to be insignificant as the difference was only 0.3%. However, to mention the average prescribed dose for the part of lung and heart, that of 3D-bolus was decreased by 11% for lung and by 8% for heart, compared to that of step-bolus.

Conclusion : It was confirmed through this research that the dose uniformity could be improved better through the device of 3D-bolus than through the device of step-bolus, as the device of 3D-bolus, produced in consideration of the contact condition of skin surface of chest wall, could be attached to patients' skin more nicely and the thickness of chest wall can be guaranteed more accurately by the device of 3D-bolus. It is considered that 3D-bolus device can be highly appreciated clinically because 3D-bolus reduces the dose on the adjacent organs and make the normal tissues protected, while that gives no reduction of dose on chest wall.

Keyword : 3D printer, 3D-bolus, chest wall