

Step Bolus와 3D Bolus를 combine 한 Bolus의 유용성 평가

삼성서울병원 방사선종양학과

이창석 · 채문기 · 박병석 · 김성진 · 주상규 · 박용철

목 적: 3D-bolus와 Step-bolus를 결합한 Bolus를 제작하였고, 그 유용성을 평가한다.

대상 및 방법: 3D 프린터(3D printer, USA)를 이용하여 10mm, 5mm두께로 Bolus를 제작하여 5mm두께의 Bolus에는 5mm의 Step Bolus를 결합하였다. Step bolus와 3D Bolus의 특성을 파악하기위해 두 bolus의 상대적전자밀도, HU값 및 질량밀도(mass density)의 차이를 알아보았다. 이 두개의 Bolus를 인체모형 Phantom에 적용하여 그 실효성을 확인해 보았다. 해당 phantom의 모든 윤곽설정 후, 전산화치료계획시스템(Eclipse 16.1, Varian medical system, USA)을 사용하여 치료계획을 수립하였다. 전자선6MeV를 사용하여 치료계획하고, phantom흉부쪽에 9개의 선량측정 point를 지정하였고, 해당 point에서의 Air-gap을 측정하였으며, 유리선량계(PLD)를 이용하여 적용하는 Bolus마다 동일 point에서의 선량평가를 진행하였다.

결 과: 3D-bolus 5mm와 Step-bolus 5mm를 결합한 Bolus를 제작하였고, 3D-bolus 1cm과 비교 평가하였다. 3D Bolus의 상대적전자밀도(Relative Electron Density)는 1.0559g/cm², Step Bolus는 1.0590g/cm²로 0.01%이하의 차이여서 상대적전자밀도가 거의 일치했다. Air-gap의 경량 측정에서 Combined bolus는 3D-bolus와 비교하여 지정된 모든 point에 대해서 Air-gap은 많게는 54.32%로 줄거나 같았다. 유리선량계(PLD)를 이용한 선량측정에서는 경사진 point를 제외한 대부분의 point에서 combined bolus를 사용한 phantom에서 치료계획의 선량과의 일치도가 높았다.

결 론: 3D-bolus와 Step-bolus를 결합하여 만든 Combined bolus는 3D-bolus와 Step-bolus가 갖는 각각의 장점을 모두 갖는다. 또한 Air-gap으로 인한 선량부정확성을 억제하여 보다 향상된 선량분포를 보여주어, 효과적인 방사선 치료를 할 수 있다.

▶ **핵심용어:** 3D Bolus, Setp Bolus Combined Bolus, electron, MRM

서 론

방사선 치료의 목적은 종양조직에는 적합한 방사선을 부여하며 동시에 정상조직에는 최소의 방사선 흡수량을 유지하여 치료가능비(TR, treatment ratio)를 최대한으로 높이는 것을 하여 암세포를 박멸시켜 환자의 생명을 연장

하고 삶의 질을 높이는 것을 목적으로 한다. 방사선 치료 시 종양조직과 정상조직이 인접한 경우, 정상조직을 최대한 제외시키며 종양의 움직임, 환자의 위치잡이(Set up), 환자의 호흡에 대한 움직임을 고려하여 PTV(치료계획용적, planing targetvolume)을 정하게 된다. 이러한 종양 및 정상조직의 용적을 설정 하였음에도 불구하고 정상조직과 종양조직이 인접한 경우에 부작용이 발생할 확률이 증가하게 된다. 특히, 유방암 환자의 방사선치료법 중, 변형 근치적 유방 절제술(Modified Radical Mastectomy)을 시행한 경우의 방사선치료는 axillary lymph node, supra-

책임저자: 이창석, 삼성서울병원 방사선종양학과
서울특별시 강남구 일원로 81 (06351)
Tel: 02) 3410-1002
E-Mail: rodong117@naver.com

clavicular lymph node, internal mammary lymph node, chest wall 등을 포함한 영역을 조사야로 선택하여 치료를 한다. 또한 현재 임상에서 방사선 치료시 주로 사용하고 에너지의 광자선은 build up깊이에서 최대 선량이 주어지기 때문에 피부에서는 최대선량보다 25%낮은 선량이 주어지게 된다. 이를 '피부보호효과(Skin Sparing)'라 칭하는데 이때문에 피부표면의 종양을 치료하기 위해서는 전자선이나 조직 등과 물질인 bolus를 사용한다. bolus(조직등가물질)는 피부 표면에 위치시켜 방사선의 최대선량 지점을 피부 쪽으로 올려주어 표면선량을 증가시켜준다. 방사선조사 영역 후방에 인접한 폐, 심장의 부작용을 방지하기 위하여, 그리고 두께가 얇고 불균등한 흉벽의 모양 등으로 bolus를 사용하고 있다.

이러한 bolus를 적용하기 위해서는 항상 환자의 체표에 확실히 밀착을 시켜 위치해야한다. 그러나 인체의구조 또는병변 및 수술로 인한 돌출과 함몰 부분이 생기는 등 환자의 일정하지 않은 체표면 때문에 일반적으로 사용하는 상품화된 bolus(commercial bolus)를 사용하면 피부와 bolus 사이에 불필요한 공기층(air gap)이 생기게 된다. 이러한 air gap은 표면선량과 중심축심부선량 감소의 원인이 된다. 이 때문에 방사선치료에서 적절한 bolus의 적용은 상당히 중요하다. 부적절한 bolus 제작방법, 그리고 Air-gap의 영향은 치료성적에 영향을 크게 끼칠 수 있다. 임상에서 사용되고 있는 bolus는 실로 다양하다. 현재 임상에서 적용가능한 bolus의 재질로는 조직등가물질인 Paraffin wax, Polystyrene, Lucite, Superstuff, Superflab등이 있다. 이러한 조직등가물질과 다양한 방법으로 air gap 없이 bolus를 사용하기 위해 끊임없는 연구결과가 보고되어왔다. 사용 목적에 따른 장점이 각각 있기 때문에, 치료에서의 적절한 재질의 bolus 적용은 중요하다. 여러 bolus 중 2가지 이상의 장점을 갖을 수 있도록 2가지 이상의 bolus를 혼합하여 방사선치료에 적용하면, 각각의 bolus가 갖는 단점을 보완할 수 있고, 부작용을 방지할수 있어 치료성적을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 방사선치료에서 일반적으로 사용되고 있는 조직등가물질 두가지 이상을 combine한 Bolus와 비교분석을 통하여 임상적 유용성을 평가하고자 하였다. 그 중에서 bolus와 체표사이에 air gap을 줄여주는

3D customized bolus와 임상에서 일반적으로 사용되는 bolus를 step bolus 방식으로 combine하여 연구해보고자 한다. 실제 의료계 임상에서의 3D프린터의 이용이 늘고 있는만큼 본 연구에서도 3D 프린터 출력물을 이용한 customized bolus를 제작하고, 이렇게 제작한 customized bolus와 기존 상품화된 bolus를 함께 사용 시 생기는 air gap의 감소효과와 선량평가를 진행해보고자 한다.

대상 및 방법

3D 프린터(3D printer, USA)로 제작한 3D Bolus와 Step Bolus를 Combine 하여 만든 Bolus를 인체모형 Phantom(Rando)에 적용하여 그 실효성을 확인해 보았다. 치료영역 윤곽설정은 방사선종양학과 의사가 치료계획시스템(Eclipse 10.1, Varian medical system, USA)으로 인체모형phantom에 가상의 치료계획목표체적(planning target volume, PTV)을 설정하였다. Combined Bolus 제작을 위한 윤곽설정은 처방선량의 95~90%영역이 PTV에 포함하고, 폐에는 처방선량의 90%이하가 조사될 수 있게 설정하여 불규칙한 체표면을 보상하였다. 해당 환자의 모든 윤곽설정 후, 전산화치료계획시스템(Eclipse 10.1, Varian medical system, USA)을 사용하여 치료계획을 수립하였다. 사용하는 에너지는 전자선6MeV을 사용하여 치료계획하고, 인체모형 phantom흉부쪽에 9개의 선량측정 point를 동일하게 지정하여 적용하는 Bolus마다 5번씩 반복측정하여 평균값으로 선량평가를 진행했다.(Figure.1)



Fig. 1. Dummy Phantom(Rando) with 9 dose measurement points

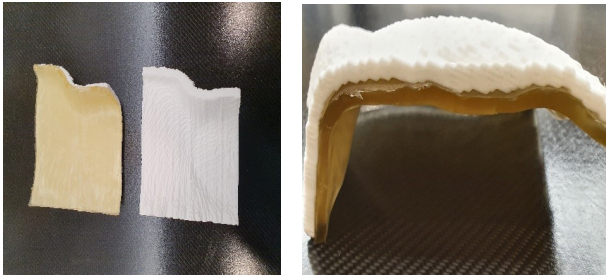


Fig. 2. 3D Bolus(5mm)with Step Bolus(5mm) and 3D Bolus(1cm)



Fig. 3. 3D printing material : PLA 1.75mm

실험에 적용하는 Bolus는 3D Bolus (1cm) 하나와, 3D Bolus(5mm)와 Step-bolus(5mm)가 결합된 Bolus 하나로, 실험에 사용하게 되는 모든 Bolus의 두께는 1cm 으로 동일하다.(Figure.2)

1. 3D Bolus 제작

연구를 위한 3D Bolus의 제작은 Rando Phantom의 전산화단층촬영장치(High Advantage, GE, USA) 영상을 기초로 하였다. 3D Bolus의 윤곽은 기존 Step Bolus의 형태와 체적을 동일하게 획득한 CT image를 바탕으로 3D Bolus의 윤곽을 설정했다. CT를 촬영하고, 획득한 영상을 디지털 의료 영상 전송장치 (digital imaging and communications in medicine, DICOM)파일로 만들어 3D Bolus 제작물질의 밀도 값에 맞는 선량 계산을 하고, 치료 계획을 수립했다. 설정을 마친 DICOM 파일은 3D Slicer(open source program) 프로그램을 이용하여 3D printer로 출력 가능한 파일 형태인 stereo lithography(STL)파일로 변환시키고 3D Bolus를 제작했다. 3D Bolus의 재질은 poly lactic acid 물질(PLA; Rokit)을 사용하여 출력하였고 본 연구에 사용된 3D 프린터는 노즐 안에서 PLA 물질을 녹인 후 밑에서부터 쌓아 제



Fig. 4. Produced 3D Bolus(5mm) and 3D Bolus(1cm)



Fig. 5. CT scan with combined bolus

작하는 적층제조법(Fused deposition modeling, FDM) 방식이기 때문에, 3D bolus 출력 후에도 Bolus 지지대와 Bolus를 분리하는 작업이 필요하다.(Figure.3) 또한 환자 피부 위에 적용하여야 되기 때문에 사포나 전기 그라인더를 사용하여 표면을 부드럽게 손질해야 하는 후처리 작업이 필요하였고 제작 시간은 하루 정도가 소요되었으며 3D Bolus 1cm두께와 Step Bolus와 결합할 5mm두께의 3D bolus를 제작하였다.(Figure.4)

2. CT와 ECLIPSE 를 통한 Step bolus와 3D bolus의 정량적 분석(밀도 분석).

Step bolus와 3D Bolus의 특성을 파악하기 위해 3D bolus(5mm)와 Step Bolus(5mm)의 전산화단층촬영(High Advantage, GE, USA)영상을 전산화치료계획시스템(Eclipse 10.1, Varian medical system, USA)를 통해 분석하였다.(Figure.5) 스캔조건은 120kV, 350mA, scan type은 helical full, rotation time 0.5 sec, SFOV는 large, slice thickness는 1.25mm로 스캔 하였다. 분석 및 평가 방법으로 각 조직등가물질의 상대적전자밀도, HU값 및 질량밀도(mass density)의 차이를 알아보았다.



Fig. 6. CBCT mode of combined bolus and 3D bolus



Fig. 8. PLD (glass dosimeter)



Fig. 7. Dose measurement of Rando Phantom with 3D Bolus

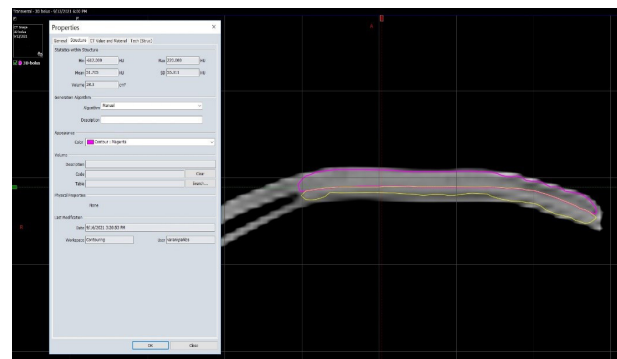


Fig. 9. contouring of combined bolus

3. Air Gap의 경량 확인

앞서 제작한 3D Bolus(1cm)와 3D Bolus(5mm), Step Bolus(5mm)를 combine한 Bolus를 인체모형 Phantom에 각각 적용하여 Set-up 후 CBCT를 이용하여 영상을 획득했다.(Figure.6) 이를 이용하여 각각의 윤곽이 형성된 영상에서 Bolus의 위치확인 및 인체모형 Phantom과 Bolus 사이에 생기는 공기층 발생여부를 경량적으로 확인하였으며, 5회 반복한 측정값의 평균과 표준편차, 표준오차를 구했다.

4. 선량 측정을 통한 평가

선량 측정방법은 전산화단층촬영영상(High advantage, GE, USA)로 얻은 영상을 바탕으로 전산화치료계획시스템(Eclipse10.1, Varian medical system, USA)을 활용한 plan으로 진행했다. Plan은 6MeV 전자선을 사용하였으며 Gantry angle 35°, 14 x 14 cone을 사용하여 2Gy x 25Fx = 50Gy로 prescription dose 90%로 치료 계획목표체적(planning target volume, PTV)을 설정하

였다. Vital_E(Varian,USA)를 이용하여 인체모형 Phantom에 9개의 선량 측정 point을 설정하고, 앞서 제작한 3D Bolus(1cm)와 3D Bolus(5mm), Step Bolus(5mm)를 combine한 Bolus를 인체모형 Phantom에 각각 적용하여 Set-up 후 동일 위치에서 유리선량계(PLD)를 이용하여 측정하였다.(Figure.7, Figure.8) 각 선량 측정 point 사이의 거리는 상하,좌우 5cm으로 설정하였고 적용하는 Bolus마다 5회반복측정하여 평균값을 산출했다.

결 과

1. 제작된 3D Bolus와 Step Bolus의 밀도분석

3D bolus와 Step bolus를 combine한 bolus의 유용성을 평가하기위해 전산화단층촬영영상(High advantage, GE, USA)을 전산화치료계획시스템(Eclipse 10.1, Varian medical system, USA)를 통해 분석한 결과(Figure.9) 3D Bolus의 상대적전자밀도(Relative Electron Density)는

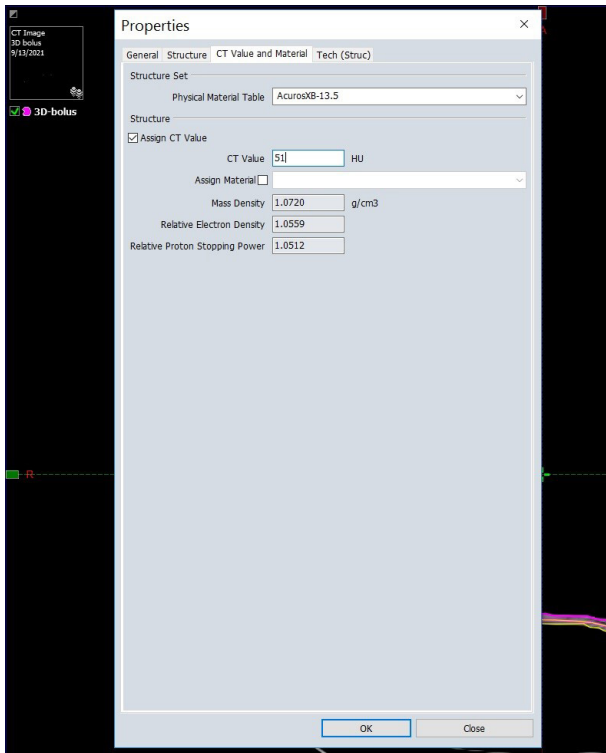


Fig. 10. 3D bolus relative electron density

1.0559g/cm², Step Bolus는 1.0590g/cm²로 0.01%이하의 차이여서 상대적전자밀도가 거의 일치했다.(Figure 10, Figure 11)

2. Air Gap의 경량 측정 결과

CBCT를 이용하여 Bolus의 위치확인 및 인체모형 Phantom과 Bolus사이에 생기는 공기층 발생여부를 경량적으로 확인하였으며, 5회 반복한 측정값의 평균과 표준편차, 표준오차를 구했다. 그 결과 3D bolus와 Combined bolus의 평균을 비교해보면 3D bolus에서의 1point는 0.48cm, 2point는 0.61cm, 3point는 0.64cm, 4point는 0.61cm, 5point는 0.57cm, 6point는 0.57cm, 7point는 0.64cm, 8point는 0.44cm, 9point는 0.52cm이고 Combined bolus에서의 1point는 0.29cm, 2point는 0.44cm, 3point는 0.42cm, 4point는 0.31cm, 5point는 0.41cm, 6point는 0.49cm, 7point는 0.28cm, 8point는 0.35cm, 9point는 0.36cm으로 대부분의 측정지점에서 air gap이 감소했음을 확인하였다.(Table.1,Table.2) 각 bolus의 Air gap의평균의 감소율 차트로 나타내어 비교해본결과

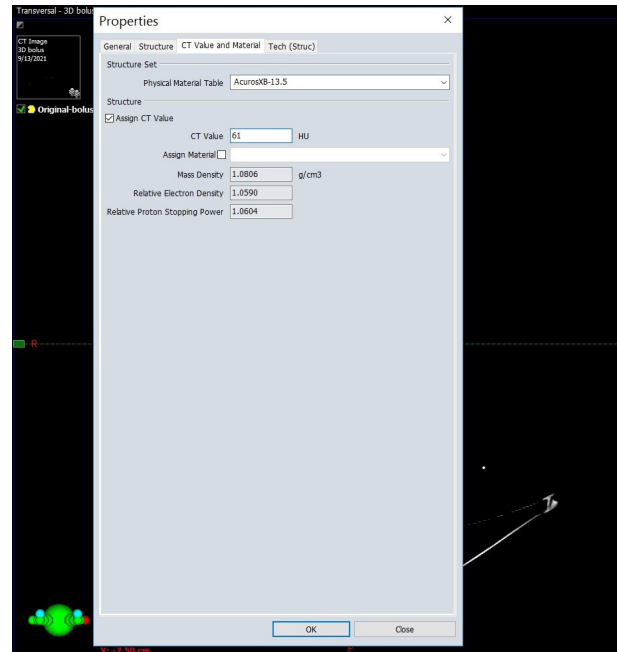


Fig. 11. commercial bolus relative electron density

1point는 38.29%, 2point는 34.15%, 3point는 36.14%, 4point는 52.22%, 5point는 28.31%, 6point는 19.94%, 7point는 54.32%, 6point는 19.94%, 7point는 54.32%, 8point는 19.86%, 9point는 31.64%로 최소 19.94% air gap이 감소하는 것을 확인할 수 있었고 특히 가장 굴곡진 부분인 7point에서는 최대 54.32%까지 air gap이 감소하는 것을 확인했다.(Table.3)

통계 분석의 경우 객관적인 평가를 위해 비모수검정을 통해 유의성을 평가하였으며 검정을 위한 프로그램은 SPSS Statistics 28버전(SPSS, IBM 회사)를 사용했고, P < 0.05의 값은 통계적으로 유의한 것으로 간주했다.

3. 선량측정을 통한 평가 결과

선량 측정은 인체모형 Phantom을 Set-up후 측정지점에 유리선량계(PLD,glass dosimeter)를 사용해 bolus를 적용한뒤 각 Bolus마다 5회반복측정하여 평균값을 산출했다. 각 bolus별로 평균값을 비교해보면 3D bolus에서의 1point는 149.19cGy, 2point는 152.14cGy, 3point는 153.96cGy, 4point는 146.56cGy, 5point는 161.69cGy, 6point는 159.97cGy, 7point는 128.65cGy, 8point는 173.32cGy, 9point는 171cGy이고 Combined bolus에서의 1point는

155.86cGy, 2point는 155.98cGy, 3point는 159.51cGy, 4point는 156.55.cGy, 5point는 156.44cGy, 6point는 164.53 cGy, 7point는 114.23cGy, 8point는 174.98cGy, 9point는 175.53cGy로 대부분의 측정지점에서 3D bolus 에서 선량이 더 감소한것을 확인할 수 있었다.(Table. 4,Table.5) 선량 일치도를 비교하기위해 1fx당 치료계획상의 선량값은 1point에서 153.4cGy, 2point에서 152.12cGy, 3point에서 158.32cGy, 4point에서 155.16cGy, 5point에서 158.72cGy, 6point에서 156.2cGy, 7point에

서 163.92cGy, 8point에서 164.96cGy, 9point에서 189.32cGy로 가장 굴곡진 7point를 제외하고 Combined bolus를 사용했을때 치료계획과 더 높은 일치도를 보였다.(Table.6, Table.7)

고찰 및 결론

표재성병변의 치료를 위해 피부표면의 방사선 치료시

Table. 1. air gap of 3D bolus

(unit : cm)

	1	2	3	4	5	Mean	SD	SE	p-value
1point	0.49	0.48	0.47	0.43	0.51	0.48	0.03	0.01	P<0,05
2point	0.67	0.62	0.68	0.64	0.61	0.64	0.03	0.01	
3point	0.64	0.61	0.69	0.66	0.64	0.65	0.03	0.01	
4point	0.59	0.58	0.66	0.59	0.62	0.61	0.03	0.01	
5point	0.52	0.51	0.64	0.57	0.62	0.57	0.06	0.03	
6point	0.54	0.54	0.61	0.59	0.57	0.57	0.03	0.01	
7point	0.59	0.59	0.69	0.59	0.67	0.63	0.05	0.02	
8point	0.43	0.42	0.44	0.47	0.45	0.44	0.02	0.01	
9point	0.5	0.5	0.57	0.54	0.51	0.52	0.03	0.01	

SD : standard deviation, SE : standard error

Table. 2. air gap of combind bolus(CB)

(unit : cm)

	1	2	3	4	5	Mean	SD	SE	p-value
1point	0.27	0.34	0.3	0.3	0.25	0.29	0.03	0.01	P<0,05
2point	0.38	0.52	0.39	0.46	0.44	0.44	0.06	0.03	
3point	0.41	0.37	0.45	0.46	0.43	0.42	0.04	0.02	
4point	0.31	0.24	0.33	0.28	0.38	0.31	0.05	0.02	
5point	0.38	0.43	0.38	0.44	0.4	0.41	0.03	0.01	
6point	0.41	0.48	0.48	0.48	0.43	0.49	0.03	0.01	
7point	0.26	0.28	0.27	0.33	0.28	0.28	0.03	0.01	
8point	0.33	0.37	0.35	0.39	0.33	0.35	0.03	0.01	
9point	0.35	0.33	0.38	0.37	0.36	0.36	0.02	0.01	

SD : standard deviation, SE : standard error

bolus의 적용은 실로 중요하다. 그에 따라서 적절한 bolus를 적용하기위해 여러가지를 고려해보아야 하는데 특히 피부와 bolus사이의 air gap은 방사선치료시 선량분포에 큰 영향을 주게된다. 이를 해결하기위해 3D bolus사용시 체표윤곽과 bolus를 최대한 밀착시킬 수 있는 장점이 있다는 것으로 알려져 있지만 실제로 유연함을 가지거나 굴곡이있는 표면에 사용시 3D bolus의 단단한 특성 때문에 유연성과 접착성을 가진 step bolus에 비해서 air gap이 더 크게

Table. 3. Air gap decreasing rate

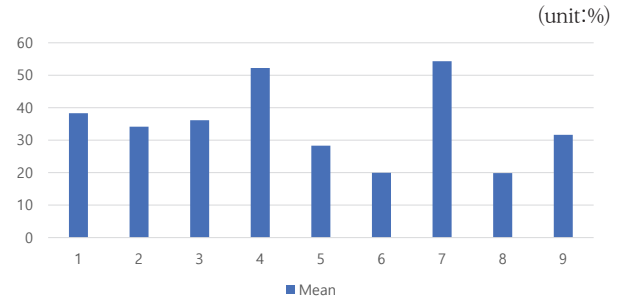


Table. 4. dose of 3d bolus and combind bolus(3D bolus)

		1	2	3	4	5	Mean
3D bolus	1point	149.13	147.57	151.52	149.22	148.49	149.19
	2point	154.65	148.3	154.19	153.66	149.89	152.14
	3point	154.84	152.54	156.4	152.55	153.48	153.96
	4point	154.01	145.64	142.32	143.36	147.48	146.56
	5point	158.88	162.47	162.84	161.78	162.49	161.69
	6point	160.08	159.44	160.45	159.57	160.29	159.97
	7point	127.33	139.66	113.16	132.93	130.19	128.65
	8point	173.33	172.68	174.71	173.39	172.49	173.32
	9point	173.05	169.19	170.29	172.18	170.29	171

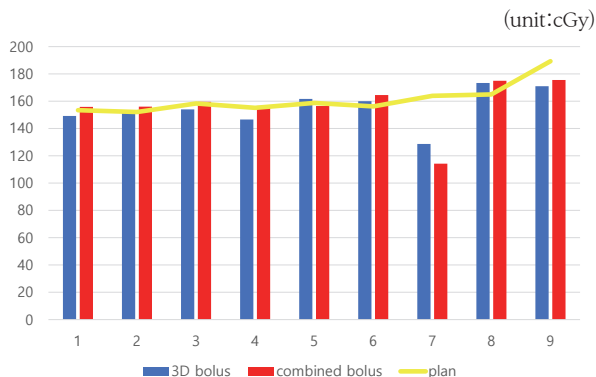
Table. 5. dose of combind bolus(CB)

		1	2	3	4	5	Mean
CB	1point	155.02	155.3	157.32	155.29	156.39	155.86
	2point	157.23	154.28	157.6	156.49	154.29	155.98
	3point	159.62	160.17	158.06	160.29	159.39	159.51
	4point	157.14	158.88	154.47	156.89	155.39	156.55
	5point	160.45	153.46	156.4	154.39	157.49	156.44
	6point	170.94	160.82	165.6	165.89	159.39	164.53
	7point	127.7	104.42	106.35	104.29	128.39	114.23
	8point	180.14	172.13	173.97	175.28	173.39	174.98
	9point	175.63	176.82	176	175.83	173.38	175.53

Table. 6. plan dose per 1fraction

	1point	2point	3point	4point	5point	6point	7point	8point	9point
1fx	153.4	152.12	158.32	155.16	158.72	156.2	163.92	164.96	189.32

Table. 7. dose average comparison



발생한 것을 확인했다. 이때문에 치료계획상의 선량일치도와 차이를 보이게 되었고 이를 해결하기 위해 3D bolus와 step bolus를 combine한 bolus를 제작하였다. 3D bolus와 step bolus의 상대적전자밀도 차이 확인결과 그 값이 거의 일치하여 두종류의 bolus를 합쳐서 사용하기에 적합했다. 또한 Combined bolus를 합치며 그 사이에 발생하는 air gap도 1mm이하여서 연구에 큰 지장을 주지 않았다.

앞선 연구를 통해 MRM환자와 같이 치료부위가 불균질하거나, 겨드랑이와같이 곡선이 많은 부위의 방사선 치료시 컴바인 볼루스를 사용했을 때 3D bolus대비 피부와 볼루스 사이에 최소 19.86%부터 최대 54.32%의 air gap이 감소되었으며 치료시에는 피부표면에서의 선량감소가 적어, 치료계획과 가장 선량 일치성이 높아 피부쪽에 최적의 선량분포를 가질 수 있다는 것을 확인했다. 또한 3D bolus를 제작하며 기존 3D bolus와 비교하여 Combined bolus는 필요한 3D bolus의 재질이 반만 필요하여 시간적으로나 경제적인 장점을 가질 수 있다. 따라서 Combined bolus의 사용은 선량부정확성을 억제하여 보다 향상된 선량분포를 보여주어, 효과적인 방사선 치료를 할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 상대적으로 평탄한곳을 제외하고 경사가 많이 진 부분에서 오히려 combine bolus 사용시 air gap은 감소하였어도 선량감소가 더 심한것으로 나타났는데 이는 추후 air gap에 의해 선량이 증가하는 rebuild up효과와 관련하여 연구를 진행하면 MRM환자 대상 외에도 좀 더 안정적으로 combined bolus를 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. K. Alireza, B. Peter, Y. Ellen, et al., "Beam Spoilers versus Bolus for 6 mv Photon Treatment of Head and Neck Cancers," Medical Dosimetry, Vol. 25, No. 3, 2000, pp. 127-131. doi:10.1016/S0958-3947(00)00038-8
2. S. H. Hsu, P. L. Roberson, Y. Chen, et al., "Assessment of Skin Dose for Breast Chest Wall Radiotherapy as a Function of Bolus Material," Physics in Medicine & Biology, Vol. 53, No. 10, 2008, pp. 2593-2606. doi:10.1088/0031-9155/53/10/010
3. N. Lee, C. Chuang, J. M. Quivey, et al., "Skin Toxicity Due to IMRT for Head-and-Neck Carcinoma," International Journal of Radiation Oncology Biology Physics, Vol. 53, No. 3, 2002, pp. 630-637. doi:10.1016/S0360-3016(02)02756-6
4. P. D. Higgins, E. H. Han, J. L. Yuan and C. K. Lee, "Evaluation of Surface and Superficial Dose for Head and Neck Treatments Using Conventional or IMRT Techniques," Physics in Medicine & Biology, Vol. 52, 2007, pp. 1135-46. doi:10.1088/0031-9155/52/4/018
5. N. Dogan and Glasgow, "Surface and Build-Up Region Dosimetry for Obliquely Incident IMRT 6MV X Rays," Medical Physics, Vol. 30, No. 12, pp. 3091-3096. doi:10.1118/1.1625116
6. S. Yokoyama, P. L. Roberson, D. W. Litzenberg, et al., "Surface Buildup Dose Dependence on Photon Field Delivery Technique for IMRT," Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol. 5, No. 2, 2004, pp. 71-81. doi:10.1120/jacmp.2020.21706
7. A. Gray, L. D. Oliver and P. N. Johnston, "The Accuracy of the Pencil Beam Convolution and Anisotropic Analytical Algorithms in Predicting the Dose Effects Due to Attenuation from Immobilization De-

- vices and Large Air Gaps,” *Medical Physics*, Vol. 36, No. 7, 2009, pp. 3181– 3191. doi:10.1118/1.314720
8. Pezner RD, Lipsett JA, Forell B, Vora NL, Desai K, Wong JY, Luk KH. The reverse hockey stick technique: ostmastectomy 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
 9. 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 adiotherapy in patients with small–cancers of the breast. *N Engl J Med*, 1981;305:6
 10. 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 axisdepth 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
 11. S. M. Fuller, D. R. Butz, C. B. Vevang, M. V. Makhoul: Application of 3–dimensional printing in hand surgery for production of a novel bone reduction clamp. *J Hand Surg Am*, 2014;39,1840–184517. Spezi E, Angelini AL, Romani F, Ferri A, “Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments”, *Phys Med Biol*, 50:3361-73, 2005.
 18. Kissick MW, Fenwick J, James JA, et al: “The helical tomotherapy thread effect”, *Med Phys*, 32: 1414–1423, 2005.
 19. Chen M, Chen Y, Chen Q, et al: “Theoretical analysis of the thread effect in helical TomoTherapy”, *Med Phys*, 38:5945–5960, 2011.
 20. Yutaka T, Michael R, Verneris, Y, et al. “Peripheral Dose Heterogeneity Due to the Thread Effect in Total Marrow Irradiation With Helical Tomotherapy”, *Int J Radiation Oncol Biol Phys*, 87: 832–839, 2013.

Evaluation of the usefulness of Bolus, which combines Step Bolus and 3D Bolus

Dept. of Radiation Oncology, Samsung Medical Center¹⁾

Chang-Suk Lee, Moon-Ki Chae, Byung-Suk Park, Sung-Jin Kim, Kyoo-Sang Joo, Chul-Yong Park

Objectives: Bolus, which combines 3D-bolus and Step-bolus, was produced and its usefulness is evaluated.

Materials and Methods: A Bolus was manufactured with a thickness of 10mm and 5mm using a 3D printer (3D printer, USA), and a Step Bolus of 5mm was bonded to a 5mm thick bolus. In order to understand the characteristics of Step bolus and 3D bolus, the differences in relative electron density, HU value, and mass density of the two bolus were investigated. These two Bolus were applied to anthropomorphic phantom to confirm its effectiveness. After all contouring of the phantom, a treatment plan was established using the computed treatment planning system (Eclipse 16.1, Varian medical system, USA). Treatment plan was performed using electron beam 6MeV, nine dose measurement points were designated on the phantom chest, air-gap was measured at that point, and dose evaluation was performed at the same point for each bolus applied using a glass dosimeter (PLD).

Results: Bolus, which combines 3D-bolus 5mm and Step-bolus 5mm, was manufactured and evaluated compared with 3D-bolus 1cm. The relative electron density of 3D Bolus was 1.0559 g/cm² and the step Bolus was 1.0590 g/cm², which was different by 0.01%, so the relative electron density was almost the same. In the light-weight measurement of air-gap, the combined bolus was reduced to 54.32% for all designated points compared to 3D-bolus. In the dose measurement using a glass dose meter (PLD), the consistency was high in phantom using combined bolus at most points except the slope point.

Conclusion: Combined bolus made by combining 3D-bolus and Step-bolus has all the advantages of 3D-bolus and Step-bolus. In addition, by dose inaccuracy due to Air-gap, more improved dose distribution can be shown, and effective radiation therapy can be performed.

▶ **Key words:** 3D Bolus, Setp Bolus, Combined Bolus, electron, MRM