

사지의 방사선 치료에 사용하는 water bolus의 적용 시 치료부위의 위치 변화에 따른 방사선 선량분포의 민감도 연구

서정민*

*대원대학교 방사선과

A Study on Dose Sensitivity according to Position Variance in Extremities Radiation Therapy with Water Bolus

Jeong Min Seo*

*Dept. of Radiological Science, Daewon University College

Abstract

The purpose of this study was to investigate radiation dose sensitivity due to displacement of human extremities in the water bolus box on radiation therapy. Water bolus box and human thigh with femur bone were constructed in computerized radiation therapy planning system to verify the absorbed dose. Two 6MV X-ray beams were irradiated bilaterally into water bolus box and then radiation dose were calculated each situation at displacement of middle axis of thigh from the center in water bolus box to right and left direction. Absorbed dose of thigh and femur bone increased by the distance of displacement. The maximum dose of thigh even increased 20% over than prescribed dose. This is in contrast to conventional concept of dose distribution in water bolus box. Based on this result, displacement of body site in the water bolus box have to be averted during radiation therapy.

Keywords : Water Bolus, Radiation Therapy, Kaposi Sarcoma

1. 서론

일반적으로 암으로 불리는 악성종양은 현대의학에서 난치병으로 인식되고 있으며 그 치료 방법으로 수술이 주된 치료법이었으나 침습적인 수단이라는 단점으로 인하여 방사선치료, 항암화학요법 등의 비중이 과거에 비하여 커지게 되었다. 특히 비침습적 치료법인 방사선 치료는 현대의학에서 암의 치료에 매우 중요한 자리를 차지하고 있다[1]. 팔 또는 다리와 같은 사지부위처럼 몸체에서 돌출된 부분의 악성종양을 치료할 때 수술을 시행하면 치료부위의 절제로 인하여 인체 형태의 손상과 기능의 장애가 발생하게 된다. 종양을 치료하는 과

정에서 이와 같은 장애의 발생을 줄이기 위하여 인체에 직접적인 손상을 가하지 않는 방사선치료가 적용되고 있다.

사지에 발병한 종양 병변의 치료를 위해 방사선 치료를 시행할 때는 치료범위에 균등한 방사선 선량분포를 형성하기 위하여 사지의 굴곡과 두께의 변이를 고려하여야 하며 방사선치료 시스템이 최첨단 기능을 보유한 경우에 이를 달성하는 것이 가능하다. 이러한 한계를 이유로 인체조직과 밀도가 유사한 물질로 사지를 둘러싸서 직육면체 형태와 같이 특정한 모양을 갖추도록 한 후 이를 방사선 조사 대상으로 보고 단순한 방법으로 치료를 시행하는 방법을 적용한다.

†이 논문은 2014학년도 대원대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임 연구되었음.

†Corresponding Author : Jeong-min Seo

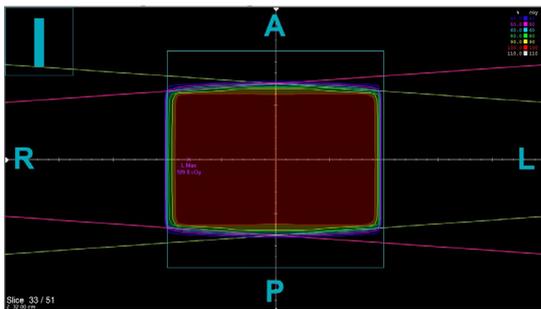
Department of Radiological Science, Daewon University College 316, Daehak-ro, Jecheon

E-mail: thomas8@daewon.ac.kr

Received October 08, 2015; Revision Received November 30, 2015; Accepted December 10, 2015.

이러한 치료 방법에서 인체조직과 동일하게 간주하는 물질을 bolus(조직등가물질, 조직보상체)라고 하며 주로 물 또는 쌀이 사용된다[2]. 물의 밀도는 약 1.0g/cm³(4°C) 정도로 인체 연부조직과 그 밀도가 유사하여 bolus로서 적절한 물질이지만 사용 중에 누수로 인하여 장비의 고장을 발생시킬 수 있으므로 물 대신 밀도가 약 1.35g/cm³ 정도인 쌀을 사용하기도 한다[3] [4].

물과 같은 물질을 bolus로 적용하여 직육면체의 형태를 구성한 후 서로 마주보는 2개의 엑스선 빔으로 대향 2문 조사를 시행하면 bolus로 이루어진 직육면체 내의 밀도가 균일하므로 방사선 선량 분포도 균일하게 형성된다. 이 직육면체 내에 인체가 포함되어 있으면 bolus와 인체는 동일한 밀도의 동일한 물질로 간주하므로 인체의 치료부위가 직육면체 내의 어느 곳에 있어도 균등한 방사선 선량 분포가 형성된다는 것이 이 치료방법의 핵심이다[Figure 1].



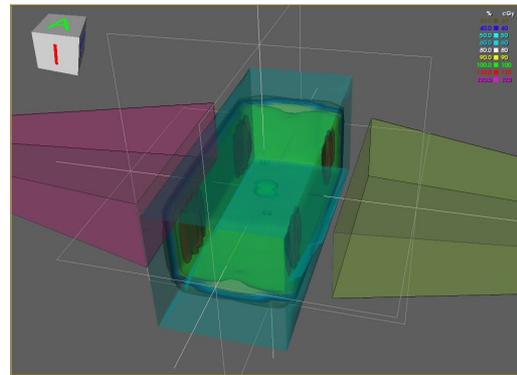
[Figure 1] Conventional concept of radiation dose distribution in the water bolus box

카포시 육종(Kaposi' s sarcoma)은 물 bolus를 적용하는 대표적인 질병이다. 카포시 육종은 4가지 type이 있으며 주로 lymphatic endothelial skin cell과 연관된 angioproliferative disease인 classical Kaposi' s Sarcoma(CKS)가 있고 HIV와 연관하여 AIDS 감염이나 장기이식과정으로 인한 면역결핍상태에서 빈번하게 발생하는 카포시 육종이 많다. 인체 여러 부위에 발생할 수 있으나 하지에 발병하는 경우가 가장 많으며 방사선에 민감하여 방사선 치료를 통하여 98.7%의 cure rate를 보인다[5].

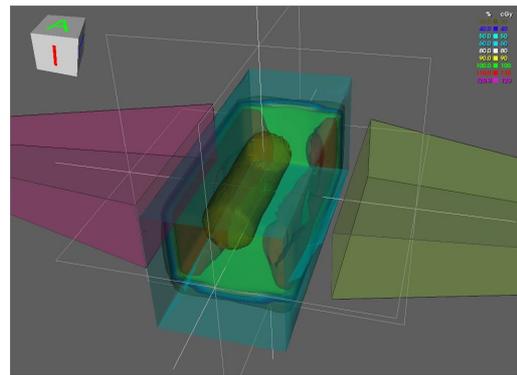
카포시 육종의 방사선치료 방법으로 water bath에 치료부위를 담고 엑스선으로 대향 2문 조사를 사용하면 균등한 선량분포 형성에 도움이 되며[6], 피부 표면에 선량이 적게 들어가는 skin sparing effect로 인한 저선량 영역의 존재를 예방하여 선량분포의 균일도 향상에 도움이 된다[7].

Elodie 등에 의하면 카포시 육종의 방사선 치료에서 물 bolus를 적용한 경우에 89%의 complete

response(CR) rate를 보였다고 한다[8]. 이는 물 bolus를 사용하지 않고 extended field를 적용한 방법에서 보인 70%의 CR rate보다 높다. Vedang 등의 연구에 의하면 arm과 leg에 대한 방사선치료에 water bucket이나 물을 채운 emergency air splint가 solution으로 제시되고 있다[9]. 특히 Cheng 등의 연구에서는 superficial skin tumor의 사지부위 방사선 치료에서 bucket에 물을 담은 water bolus를 사용하여 skin sparing effect를 줄이고 dose inhomogeneity를 피할 수 있었다고 한다[10].



(a)



(b)

[Figure 2] Calculated 3D dose distribution in water bolus box, (a) bolus box only, (b) with human thigh in the water bolus box

그러나 이처럼 물 bolus를 사용하는 방법에서 인체 내 선량을 실측하여 실제로 균일한 선량분포를 형성하는지 검정한 사례는 없으며, 인체의 밀도가 물과 같이 체적 전체가 균일하지 않다는 사실이 반영되지 않았다. 체적 전체가 균일한 밀도를 가진 경우에는 [Figure 2]의 (a)처럼 균등한 방사선 선량분포를 가지겠지만 실제로는 밀도가 균일하지 않은 인체가 물 bolus 내에 존재하면 [Figure 2]의 (b)와 같이 불균일한 선량분포가 형성된다. 특히 물 bolus 내에서는 치료부위의 자세가 고

정되지 않으므로 치료부위의 치료 간(inter-fractional) 또는 치료 중(intra-fractional) 위치 변화가 발생하게 된다. 이로 인하여 처방된 선량이 제대로 전달되지 않게 되는 결과가 발생하게 된다.

본 연구에서는 물 bolus내에서 방사선치료를 시행할 때 치료부위의 위치 변화에 따른 방사선 선량분포의 변화에 대한 민감도를 전산화 치료계획시스템을 이용하여 알아보고 기존의 방법에서 제시하는 이론과 차이가 있는지 알아보았다.

2. 대상 및 방법

2.1 전산화 방사선치료계획 설정

2.1.1 물 bolus와 조사 부위 구성

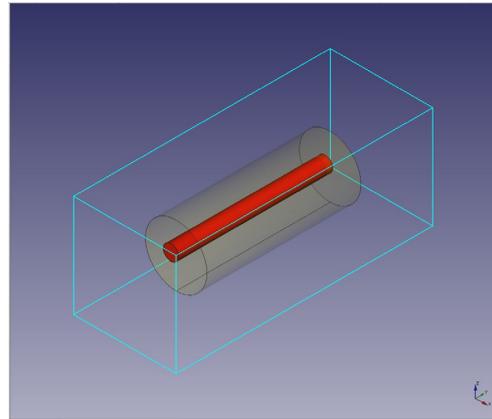
본 연구에서는 전산화 방사선 치료계획 시스템인 CorePlan(SC&J, Korea)을 사용하여 가상의 물 bolus와 인체의 사지 중 한 부위를 구성하고 실험을 시행하였다. 물 bolus의 크기는 $20 \times 20 \times 50 \text{cm}^3$ 로 성인의 허벅지를 포함할 수 있을 정도로 임상에서 사용하는 적절한 크기이며 밀도는 1.0g/cm^3 로 설정하였다.

물 bolus내에 삽입할 가상의 사지 부위는 길이 30cm, 지름 12cm의 허벅지이다. 가능한 실제 인체와 유사하게 모사하기 위하여 허벅지 내에 길이 30cm, 지름 3cm의 대퇴골(femur, 넓다리뼈)을 구성하였으며 대퇴골의 중심을 허벅지 내의 정중앙에 두지 않고 우측으로 1cm 지점에 위치시켜 사실적인 모의실험이 되도록 하였다[Figure 3].

대퇴골의 밀도는 2.0g/cm^3 로 설정하였으며, 허벅지 연부조직의 밀도는 1.0g/cm^3 과 1.2g/cm^3 두 가지로 설정하여 각각 실험하였다. 인체 연부조직의 밀도는 거의 1.0g/cm^3 에 가까워 전통적으로 방사선치료를 시행할 때 물과 인체 연부조직을 동일한 밀도로 가정한다. 그러나 CT 영상에서 CT number를 이용하여 유도한 허벅지 부위의 밀도는 약 1.1g/cm^3 으로 실제로는 1.0g/cm^3 보다 조금 높음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 허벅지 연부조직의 밀도를 1.0g/cm^3 과 1.2g/cm^3 두 가지로 설정하여 분석을 각각 시행하였다.

2.1.2 방사선 조사면 설정

방사선 빔의 회전중심점(iso-center)을 물 bolus의 중심으로 설정하고 전통적으로 임상에서 적용하는 좌우 대향 2분 조사로 빔을 조사 하였다. 조사면의 크기는 $40 \times 14 \text{cm}^2$ 로 허벅지가 모두 포함될 수 있도록 하였다.



[Figure 3] Concept of construction for bolus box with human thigh and bone in radiation therapy planning system ; box(blue wire) present the water bolus box, lager cylinder present human thigh, small cylinder present femur bone.

2.1.3 방사선 처방선량과 에너지 설정

사지부위를 포함한 여러 부위의 방사선치료의 방사선 처방선량과 분할 횟수는 발병한 종양세포의 종류, 진전도, 위치 및 크기에 근거하여 다른 값을 가진다. 본 연구에서는 분석의 편의성을 위하여 1회 치료의 처방선량을 회전중심점에 대하여 100cGy 로 설정하였다. 처방선량은 중앙 또는 특정 위치에 부여하고자 하는 방사선 흡수선량을 의미하며 방사선의 흡수선량 단위인 Gy(Gray)를 사용한다. 흡수선량의 단위 1Gy 는 1J/kg , 즉 1kg 의 질량을 가진 물질에 1J 의 에너지가 흡수되었을 때의 방사선 선량을 의미한다.

방사선 에너지는 조사부위 두께를 고려하여 적절한 에너지인 6MV 엑스선으로 설정하였다.

2.2 방사선 선량 계산과 분석

2.2.1 조사부위의 위치 이동

조사부위의 중심을 물 bolus의 중앙에 위치시킨 상태에서 계산된 흡수선량을 기준이 되는 선량으로 적용하였으며 조사부위의 중심이 물 bolus의 중앙으로부터 좌측과 우측으로 각각 1cm, 2cm, 3cm, 4cm 위치로 이동된 상태의 방사선 흡수선량을 각각 계산하였다.

2.2.2 조사 부위의 흡수선량 계산

조사부위의 중심이 물 bolus의 중앙에서 이탈하여 이동한 상황에 대하여 허벅지와 대퇴골의 방사선 흡수선량을 계산하였다. 이동된 거리별로 각 부위의 전체의 평균선량 값과 해당 부위의 체적 내에 존재하는 최고

선량, 최저선량을 전산화 치료계획 시스템에서 자동으로 계산하여 각각의 값을 얻었다.

2.2.3 조사 부위의 위치별 흡수선량 비교

조사부위가 물 bolus 내에서 중앙을 이탈하는 정도에 따라 조사 부위의 흡수선량 값을 기준 선량과 비교하여 선량의 변화를 분석하였다.

3. 결과

3.1 조사부위의 기준 선량

3.1.1 허벅지 흡수선량의 기준 선량

허벅지의 위치가 물 bolus의 중앙에 위치한 경우의 선량을 기준 선량으로 보았으며 허벅지의 밀도가 1.0g/cm³과 1.2g/cm³ 두 가지로 나누어 계산을 시행하였다. 허벅지의 밀도가 1.0g/cm³인 경우에는 허벅지의 평균선량 107.8cGy, 최고선량 114.0cGy, 최저선량 99.9cGy로 계산되었다. 허벅지의 밀도가 1.2g/cm³으로 설정된 경우에는 평균선량 107.7cGy, 최고선량 113.9cGy, 최저선량 99.8cGy로 나타났다<표 1><표 2>.

3.1.2 대퇴골 흡수선량의 기준 선량

허벅지의 위치가 물 bolus의 중앙에 위치한 경우의 대퇴골의 선량을 기준 선량으로 보았으며 허벅지의 밀도가 1.0g/cm³과 1.2g/cm³ 두 가지로 나누어 계산을 시행하였다. 허벅지의 밀도가 1.0g/cm³인 경우에는 대퇴골의 평균선량 104.0cGy, 최고선량 106.8cGy, 최저선량 99.9cGy로 계산되었다. 허벅지의 밀도가 1.2g/cm³으로 설정된 경우에는 평균선량 103.8cGy, 최고선량 106.4cGy, 최저선량 99.8cGy로 나타났다<표 3><표 4>.

3.2 위치 변화에 따른 허벅지 부위 선량

3.2.1 허벅지(1.0g/cm³)의 위치별 흡수선량

허벅지의 밀도가 1.0g/cm³인 경우의 허벅지의 위치가 물 bolus의 중앙에서 인체의 우측 또는 좌측으로 1cm씩 변위하는 경우의 선량은 <표 1>과 같다. 허벅지가 물 bolus의 중앙에서 1cm씩 멀어질 때 마다 허벅지의 평균선량은 평균 0.65cGy씩 증가하였으며 허벅지의 최고선량은 평균 1.54cGy씩 증가하였다.

허벅지가 인체 우측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 허벅지에 대한 평균선량은 102.31%, 최고선량은 105.35%, 최저선량은 92.49%로 변화하였다.

허벅지가 인체 좌측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 허벅지에 대한 평균선량은 102.50%, 최고선량은 105.43%, 최저선량은 90.29%로 변화하였다.

허벅지의 중심이 물 bolus 중앙에서 4cm 변위되면 처방선량을 기준으로 허벅지의 평균선량이 10%를 초과하며 최고선량은 20%를 초과하게 되고 최저선량은 약 -10% 감소하게 된다.

3.2.2 허벅지(1.2g/cm³)의 위치별 흡수선량

허벅지의 밀도가 1.2g/cm³인 경우의 허벅지의 위치가 물 bolus의 중앙에서 인체의 우측 또는 좌측으로 1cm씩 변위하는 경우의 선량은 <표 2>와 같다. 허벅지가 물 bolus의 중앙에서 1cm씩 멀어질 때 마다 허벅지의 평균선량은 평균 0.88cGy씩 증가하였으며 허벅지의 최고선량은 평균 2.13cGy씩 증가하였다.

허벅지가 인체 우측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 허벅지에 대한 평균선량은 103.06%, 최고선량은 107.46%, 최저선량은 97.19%로 변화하였다.

허벅지가 인체 좌측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 허벅지에 대한 평균선량은 103.52%, 최고선량은 107.55%, 최저선량은 94.99%로 변화하였다.

허벅지의 중심이 물 bolus 중앙에서 3cm 변위되면 처방선량을 기준으로 허벅지의 평균선량이 10%를 초과하며 최고선량은 20%를 초과하게 된다. 그러나 최저선량의 감소는 최대 약 5%에 불과하다.

3.3 위치 변화에 따른 대퇴골 부위 선량

3.3.1 대퇴골 위치별 선량 (허벅지밀도 1.0g/cm³)

허벅지의 밀도가 1.0g/cm³인 경우의 허벅지의 위치가 물 bolus의 중앙에서 인체의 우측 또는 좌측으로 1cm씩 변위하는 경우의 대퇴골의 선량은 <표 3>와 같다. 허벅지가 물 bolus의 중앙에서 1cm씩 멀어질 때 마다 대퇴골의 평균선량은 평균 0.78cGy씩 증가하였으며 대퇴골의 최고선량은 평균 1.29cGy씩 증가하였다.

허벅지가 인체 우측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 대퇴골에 대한 평균선량은 103.65%, 최고선량은 105.62%, 최저선량은 101.30%로 변화하였다.

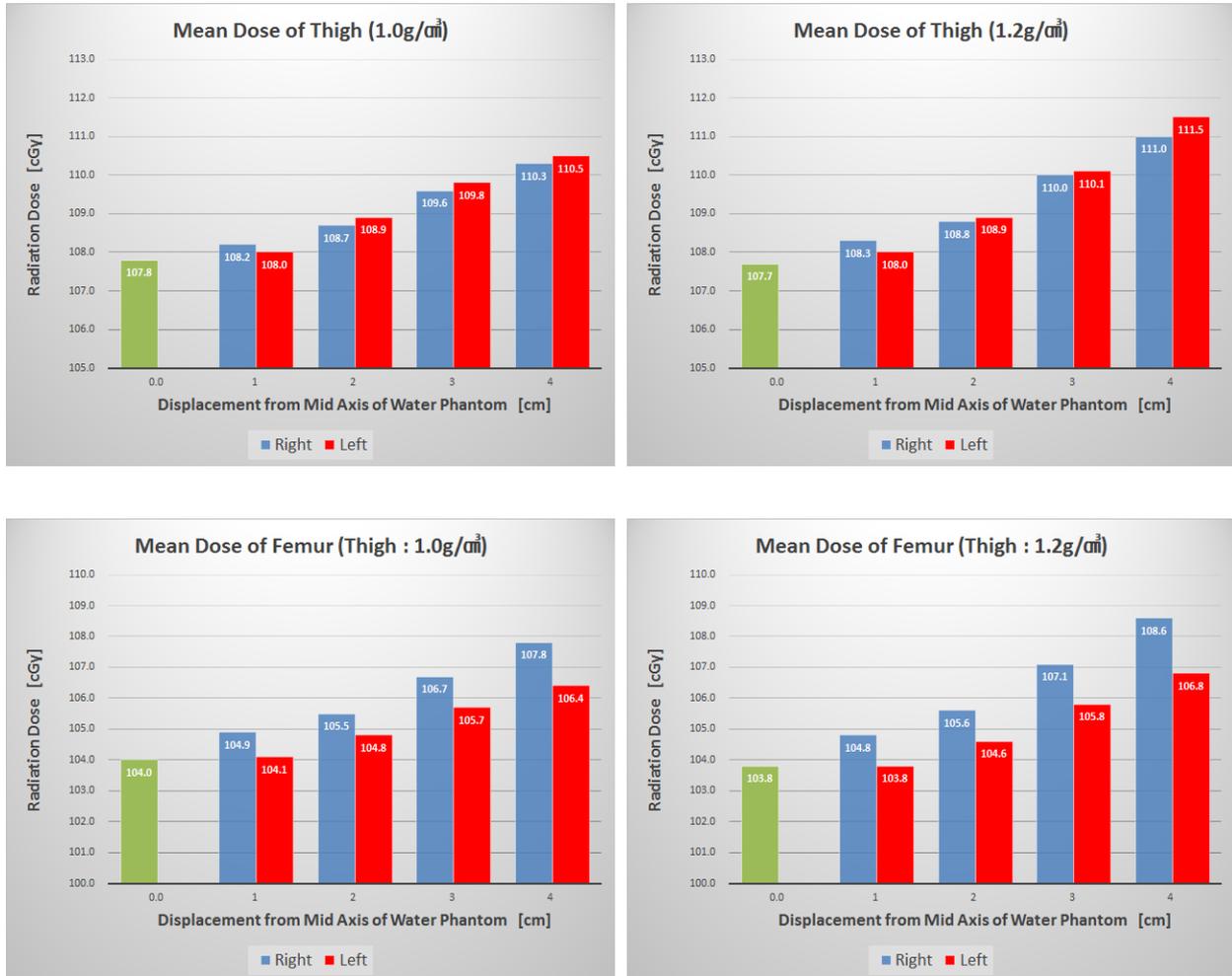
허벅지가 인체 좌측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 대퇴골에 대한 평균선량은 102.30%, 최고선량은 104.03%, 최저선량은 100.60%로 변화하였다.

3.3.2 대퇴골 위치별 선량 (허벅지밀도 1.2g/cm³)

허벅지의 밀도가 1.2g/cm³인 경우의 허벅지의 위치가 물 bolus의 중앙에서 인체의 우측 또는 좌측으로 1cm 씩 변위하는 경우의 대퇴골의 선량은 <표 4>와 같다. 허벅지가 물 bolus의 중앙에서 1cm씩 멀어질 때 마다

대퇴골의 평균선량은 평균 0.98cGy씩 증가하였으며 대퇴골의 최고선량은 평균 1.55cGy씩 증가하였다.

허벅지가 인체 우측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 대퇴골에 대한 평균선량은 104.62%, 최고 선량은 106.95%, 최저선량은 101.90%로 변화하였다.



[Figure 4] Mean dose of thigh and femur bone at each displacement from center of water bolus box

허벅지가 인체 좌측으로 4cm 변위한 경우, 기준 선량을 기준으로 대퇴골에 대한 평균선량은 102.89%, 최고선량은 104.69%, 최저선량은 101.00%로 변화하였다.

허벅지의 밀도가 1.0g/cm³으로 설정된 경우와 1.2g/cm³로 설정된 경우의 선량 계산 결과에 통계적으로 유의한 차이가 있는지 비교하기 위해 두 plan에서 계산된 선량 값에 대하여 대응표본 T-test를 시행한 결과 허벅지의 밀도가 1.0일 때와 1.2일 때 얻은 값들은 유의한 차이를 보였다(p=0.0053).

3.4 통계 분석 결과

3.4.1 허벅지 밀도 차이에 따른 계산 결과의 비교

<Table 1> Absorbed radiation dose of thigh (density of thigh : 1.0g/cm³) [cGy]

Dose	Displacement of middle axis of thigh from the center in water bolus box								
	right				mid	left			
	4 cm	3 cm	2 cm	1 cm	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
mean	110.3	109.6	108.7	108.2	107.8	108	108.9	109.8	110.5
max	120.1	119.5	118.6	117.1	114.0	115.6	118.5	119.4	120.2
min	92.4	99.7	99.9	99.7	99.9	99.9	99.9	99.9	90.2
SD	4.5	3.7	3.2	2.8	2.3	2.5	3.2	3.7	4.7

<Table 2> Absorbed radiation dose of thigh (density of thigh : 1.2g/cm³) [cGy]

Dose	Displacement of middle axis of thigh from the center in water bolus box								
	right				mid	left			
	4 cm	3 cm	2 cm	1 cm	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
mean	111.0	110.0	108.8	108.3	107.7	108.0	108.9	110.1	111.5
max	122.4	120.9	119.4	117.4	113.9	115.9	119.3	120.9	122.5
min	97.0	99.8	99.8	99.9	99.8	99.8	99.8	99.9	94.8
SD	5.0	4.2	3.4	2.8	2.2	2.5	3.5	4.2	5.1

<Table 3> Absorbed radiation dose of femur bone (density of thigh : 1.0g/cm³) [cGy]

Dose	Displacement of middle axis of thigh from the center in water bolus box								
	right				mid	left			
	4 cm	3 cm	2 cm	1 cm	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
mean	107.8	106.7	105.5	104.9	104.0	104.1	104.8	105.7	106.4
max	112.8	112.1	110.8	108.5	106.8	106.8	110.0	110.8	111.1
min	101.2	100.9	100.3	99.9	99.9	99.9	100.0	100.4	100.5
SD	2.4	2.2	2.1	1.9	2.3	1.7	2	2	2.2

<Table 4> Absorbed radiation dose of femur bone (density of thigh : 1.2g/cm³) [cGy]

Dose	Displacement of middle axis of thigh from the center in water bolus box								
	right				mid	left			
	4 cm	3 cm	2 cm	1 cm	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
mean	108.6	107.1	105.6	104.8	103.8	103.8	104.6	105.8	106.8
max	113.8	111.9	110.0	108.2	106.4	106.5	109.0	110.0	111.4
min	101.7	101.2	100.5	100.1	99.8	99.8	100.0	100.5	100.8
SD	2.6	2.2	2.0	1.8	1.6	1.6	1.8	2.0	2.3

3.4.2 변위 방향에 따른 허벅지 선량 증가 비교

허벅지의 위치가 1cm씩 변위될 때 허벅지에 대하여 증가하는 선량의 증가분이 이동 방향에 따라 유의한 차이가 있는지 비교하기 위하여 허벅지의 평균선량과 최고선량의 선량증가분을 우측과 좌측 방향에 대하여 대응표본 T-test를 시행한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.7759).

3.4.3 변위 방향에 따른 대퇴골 선량 증가 비교

허벅지의 위치가 1cm씩 변위될 때 대퇴골에 대하여 증가하는 선량의 증가분이 이동 방향에 따라 유의한 차이가 있는지 비교하기 위하여 대퇴골의 평균선량과 최고선량의 선량증가분을 우측과 좌측 방향에 대하여 대응표본 T-test를 시행한 결과 유의한 차이를 보였

다($p=0.02$). 특히 대퇴골 부위에 대한 평균선량의 증가분만 비교하였을 때 더 뚜렷하게 유의한 차이를 보였다($p=0.018$).

4. 결론 및 고찰

물 bolus를 사용하는 기존의 방사선치료에서는 치료 부위가 물 bolus box 내에 존재하면 그 안에서의 위치와 상관없이 균등한 선량분포가 형성된다고 보았다. 그러나 본 연구를 통하여 그것은 사실이 아니라는 것을 확인하였으며, 심지어 치료부위가 물 bolus 내의 중심에서 벗어날 경우 평균 흡수선량이 증가하므로 선량의 과소평가로 인하여 부작용의 발생 가능성이 높아지게 된다.

치료부위의 변위로 인하여 허벅지의 경우 최고 선량이 처방 선량의 약 123%까지 증가하였으며 대퇴골의 경우 처방 선량의 약 114%까지 증가하였다. 이는 특정 부위에 높은 방사선 선량 영역을 형성하여 방사선 치료 중 조직 괴사를 발생시키고 방사선 화상이 발생할 수 있는 부작용을 초래할 가능성이 커진다는 것을 의미한다.

특히 연부조직의 밀도가 높으면 선량의 증가가 더 커지는 것을 알 수 있었으며, 허벅지 내에서 한 쪽에 치우쳐 위치한 대퇴골의 선량의 증가는 변위 방향에 대한 의존성을 보이고 있었다.

Ahn 등의 연구[11]에서는 카포시 육종의 하지 방사선 치료에서 쌀과 물을 bolus로 사용할 때 각각의 선량분포 균등성을 분석하여 그 유용성을 고찰하였으며, Kim 등의 연구에서[12] 인체 말단부위의 방사선 치료를 시행하는 경우의 선량의 방향의존성을 MCNP 전산 모사로 분석하였다. 그러나 이러한 연구도 bolus 내에서 치료부위의 변위에 의한 선량의 변화 민감도를 고찰한 경우는 찾아볼 수 없었다. 물보다 유동성이 비교적 낮은 gel 또는 이와 유사한 물질을 bolus로 사용하여 water bolus와 비교한 경우[13][14]가 있으나 이 같이 실제 치료 case를 보고한 연구에서는 대부분 치료율 및 생존율을 보고하는 내용이었다.

국제방사선단위위원회 ICRU report 50과 62에서 처방선량의 +7%, -5% 이내를 수용 가능한 선량 불균등 범위로 언급하고 있다. 따라서 방사선치료에서 선량 분포의 균일성은 $\pm 10\%$ 이내를 유지하는 것이 중요하다.

본 연구에서 물 bolus를 사용하여 사지부위의 방사선 치료를 시행하는 경우 치료부위가 고정되지 않고 그 위치가 변화하게 되면 처방된 선량보다 높은 선량이 전달되는 것을 정량적으로 평가하였다. 임상에서 사지부위의 카포시 육종에 대한 방사선치료에서 물 bolus

를 적용할 때는 치료부위의 위치가 변화하지 않도록 고정함으로써 계획된 선량이 정확히 전달되도록 하여 양질의 방사선치료가 이루어지도록 하여야 할 것으로 사료된다.

5. References

- [1] Edward C Halperin, Carlos A Perez, Luther W Brady. (2008), "Principles and Practice of Radiation Oncology." , LWW, 2-20.
- [2] Lin JP, Chu TC, Liu MT. (2001), "Dose Compensation of the Total Body Irradiation Therapy." , Apple Radiat Isot, 55:623-630.
- [3] Na HS, Kim K, Oh GS, et al.(2002), "Physical Properties on Waxy Black Rice and Waxy Rice." , Korean Society of Food Science and Technology, 2:339-342.
- [4] Morrison WH, Wong PF, Starkschall G, et al. (1995), "Water Bolus for Electron Irradiation of the Ear Canal." ,Int J Radiation Oncology Biol Phys, 33:479-483.
- [5] Caccialanza M, et al. (2008), "Radiotherapy of Classic and Human Immunodeficiency Virus-Related Kaposi's Sarcoma." , J Eur Acad Dermatol Venereol, 22:297
- [6] Edward C Halperin, Carlos A Perez, Luther W Brady. (2008), "Principles and Practice of Radiation Oncology." , LWW, 710.
- [7] Edward C Halperin, Carlos A Perez, Luther W Brady. (2008), "Principles and Practice of Radiation Oncology." , LWW, 1816-1817.
- [8] Elodie Regnier, Bernard Guillot, Nicolas Dupin. (2012), "Treatment for Classic Kaposi Sarcoma: A Systematic Review of the Literature." , J American Academy of Dermatology, 68(2):313-331
- [9] Vedang Vyas, Lisa Palmer, Ray Mudge, et al. (2013), "On Bolus for Megavoltage Photon and Electron Radiation Therapy." , Medical Dosimetry, 38:268-273.
- [10] Cheng B. Saw, B-Chen Wen, K. Anderson, et al. (1998), "Dosimetric Consideration of Water -Based Bolus for Irradiation of Extremities." , Medical Dosimetry, 23(4):292-295.
- [11] Seung Kwon Ahn, Yong Bae Kim, Ik Jae

- Lee, et al. (2008), "Evaluation of a Water-Based Bolus Device for Radiotherapy to the Extremities in Kaposi's Sarcoma Patient.", *Radiat Oncol J* 26(3):189-194
- [12] Jong-Soo Kim, Suk-Chul Yoon, Jang-Lyul Kim, et al. (1996), "A Theoretical Calculation for Angular Dependence of X-ray Beams on Extremity Phantom.", *J Korean Asso. Radiat. Prot.*, 21(4):263-271
- [13] Muge Akmansu, Fatih Goksel, O. Petek Erpolat, et al. (2011), "The Palliative Radiotherapy of Classic Kaposi's Sarcoma of Foot Region: Retrospective Evaluation.", *Int J of Hematology and Oncology*, 21(3):147-152
- [14] Kuo-Ming Huang, Chin-Hung Hsu, Jason Chia-Hsien Cheng, et al. (2006), "Radiotherapy of Classic Kaposi's Sarcoma in Taiwan, an Area where Classic Kaposi's Sarcoma is not Prevalent.", *Anticancer Research*, 26:4659-4664.

저자 소개

서정민



한양대학교 원자력공학과 박사 수료, 삼성서울병원 방사선종양학과에 근무했으며, 관심분야는 방사선치료 및 의학물리이고 현재 대원대학교 방사선과 교수로 재직 중이다.