A Study of Thermoplastic Masks Deformation for Reducing Scattered Ray in Radiation Therapy

Seong-Min Lee[1], Jun-Young Lee[2], Jae-Hyun Kim[3], Kyeong-Hwan Jeong[4], Jeong-Min Seo[1,*]

[1]Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan
[2]Department of Radiation Oncology, Haeundae Paik Hospital, Inje University
[3]Department of Radiology, Ddsooh Hospital
[4]Department of Radiological Science, Daegu Health College

Received: December 11, 2022. Revised: February 27, 2023. Accepted: February 28, 2023.

ABSTRACT

In head and neck radiation therapy, the thermoplastic immobilization mask used for fixing the patient's posture and reproducibility causes scattered rays by being in close contact with the skin. To investigate the increase in skin dose due to the scattered rays generated from the immobilization mask, we evaluated dose reduction by decreasing contact between face skin and immobilization mask in computerized radiotherapy planning system with CT scanned images. In addition, to confirm the reproducibility problem of the setup due to the decrease in the cover area of immobilizing, the difference of each setup was confirmed using DRR and CT images. As the mask area covered for immobilizing was reduced, the dose on the skin surface significantly decreased, and it was confirmed that there was no significant difference in reproducibility even if the entire face was not covered and fixed.

Keywords: Radiotherapy, Scattered Ray, Skin Dose, Immobilization, Thermoplastic

I. INTRODUCTION

방사선을 인체에 조사하면 인체 내에서 물리적, 화학적 그리고 생물학적 작용이 발생하여 인체 내 물질의 조성에 변화가 생기게 되며 이로 인하여 세포에서는 기능장해, 증식저지, 사멸이 일어나게 되고 나아가 방사선치료에서는 이를 이용하여 암 조직을 파괴할 수 있다[1]. 일반적인 방사선치료는 통상적으로 수주에 걸친 장기간의 분할 조사를 시행하므로 치료시마다 환자의 자세와 치료위치 셋업의 정확한 재현성은 필수적이라고 할 수 있다[2]. 방사선치료기술이 발전하면서 높은 정밀도와 정확도를 요구하는 최신치료기술에서는 환자의 재현성을 유지시킬 수 있는 고정용구의 사용을 신중히 고려해야한다[3]. 방사선치료에서 환자에 대한 고정용구를 사용할 때에 환자의 피부에 고정용구가 밀착되는 경우가 많으며 치료계획에 따라 치료를 위한 방사선이 고정용구를 투과하여 목적 부위에 조사되기도 한다.

방사선치료에서의 산란선의 발생은 치료 장비의 조사 헤드부와 공간상의 매질인 공기 그리고 환자의 인체에서 기인하여 주로 발생하지만 피부에 밀착된 고정용구를 이용할 때에도 발생될 수 있어 피부에 대한 산란선의 영향이 증가할 수 있다[4]. 엑스선의 산란은 주로 콤프턴산란과 레일리산란에 의해 발생하며, 엑스선의 에너지와 반응 물질의 특성에 따라 지배적인 분포를 가질 수 있다. 따라서 엑스선원에서 발생한 광자가 조사대상물체와 반응하게 되면 확률에 따른 상호작용과 함께 산란선이 반드시 발생하며 이는 방사선영상시스템에서는 피할

* Corresponding Author: Jeong-Min Seo E-mail: thomas8@cup.ac.kr Tel: +82-51-510-0581
Address: No. 510-1, Bld. A, #57, Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan, Republic of Korea

수 없는 근원적인 현상이고 방사선치료에서의 고정용구 사용으로 인한 산란선 발생도 피하기 어렵다[5-7].

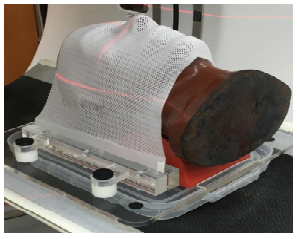
방사선치료에서 두·경부 고정용구로 많이 사용하는 열가소성 플라스틱 마스크(thermoplastic mask)의 특성은 밀도 1.14 g/cm^3, 구성화학식은 $(C_6H_{10}O_2)n$이고[8] 약 70 ℃로 가열하면 쉽게 늘어나서 원하는 모양으로 가공할 수 있으며 식으면 딱딱하게 굳어지는 성질을 가지게 되므로 이를 이용하여 환자의 두·경부 및 얼굴의 형태에 맞는 몰드형 고정용구를 제작한다[8]. 경화된 열가소성 플라스틱을 사용하는 고정용구는 그 특성 상 치료를 위한 방사선이 고정용구를 통과하여 인체에 조사된다. 이 과정에서 방사선과 플라스틱 고정용구와의 상호작용으로 발생된 산란선이 피부 표면에 불필요한 피폭선량증가를 유발할 수 있다.

이에 본 연구에서는 열가소성 플라스틱 마스크 고정용구의 피부밀착부위를 최소화 하여 피부선량의 감소여부를 전산화치료계획 시스템을 이용하여 확인하였으며 이에 따른 셋업의 재현성 수준까지 비교하였다.

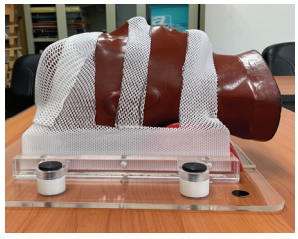
II. MATERIAL AND METHODS

1. 고정용구의 제작과 팬텀 영상 획득

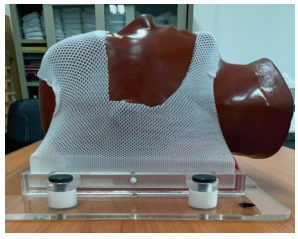
방사선치료 고정용구로 사용하는 열가소성 플라스틱 마스크(Aquaplast, 전성물산, Korea)를 인체 머리를 모사한 팬텀(RS-109, RSD, US)에 적용하여 제작하였으며 이때 고정용구로 인한 피부의 산란선 영향을 비교하기 위하여 피부에 밀착되는 면적이 다른 세 타입의 마스크를 제작하여 적용하였다. 기존의 방사선치료에서 적용하는 방식을 비교의 기준으로 설정하기 위하여 Fig. 1-(a)와 같이 팬텀의 얼굴 표면 전체를 커버하는 마스크 타입A를 제작하고 비교 기준으로 설정하였다. 기준 마스크와 같이 얼굴 전체를 커버하는 경우에 환자들이 호흡의 어려움을 호소하는 경우를 해결하면서 피부밀착부위를 동시에 감소시키기 위하여 Fig. 1-(b)와 같이 마스크에서 얼굴의 눈 부위와 입 부위를 제거한 마스크 타입B, 그리고 Fig. 1-(c)와 같이 눈 부위에서 입 부위까지를 이어서 제거하여 이마와 턱 부위만을 고정한 마스크 타입C를 제작하여 마스크 타입A와 비교하였다. 각 마스크를 적용한 팬텀에 대하여 CT(GE Revolution Evo, GE, US)스캔을 하였다. 세 종류의 마스크에 대한 재현성 평가를 위하여 각 마스크별로 3번의 셋업과 CT 스캔을 반복하여 시행하였다.



(a) Mask covering whole face



(b) Mask covering except eye and mouth site



(c) Mask covering forehead and chin

Fig. 1. Optimized thermoplastic mask for immobilization.

2. 표면선량 분석

스캔한 CT영상을 이용하여 전산화방사선치료계획시스템(CorePlan, SC&J, Korea)으로 6 MV 엑스선, 처방선량 100 cGy, 조사면 30×30 cm^2 정면 단일빔을 이용한 치료계획을 적용하고 지정한 피부표면 위치의 선량을 계산하였다. 본 연구에 사용한 방사선치료계획시스템인 CorePlan은 Equivalent Tissue-Air-Ratio와 Collapsed Cone Convolution (CCC) 알고리듬을 기반으로 하고 커널(kernel)을 사용한 선량계산 방식을 적용한다.

산란선 비교 지점은 고정용구가 피부를 덮고 있는 부위에서의 차이를 비교하기 위하여 Fig. 2와 같이 마스크별로 얼굴을 덮는 위치 차이를 고려한 다섯 구역으로 나눈 후 피부표면과 1 cm 및 2 cm 각 깊이에서 13~14개 동일한 지점에 대한 선량을 계산하고 SPSS(IBM, US)를 이용하여 마스크 종류에 따른 동일한 지점의 선량끼리 대응표본 비교를 위한 paired T-test를 통하여 비교분석을 시행하였다.

3. 셋업의 재현성 분석

본 연구에서 적용한 세 타입의 마스크의 얼굴에 대한 고정부위가 다르므로 이에 따른 재현성의 차이를 확인하기 위하여 각 마스크별로 세 차례에 걸쳐 반복적으로 셋업을 시행하고 이를 각각 스캔한 CT영상들을 이용하여 Fig. 3과 같이 전산화방사선치료계획시스템에서 디지털로 재구성한 방사선영상인 DRR(digital reconstructed radiography)을 제작한 후 비교하였다.

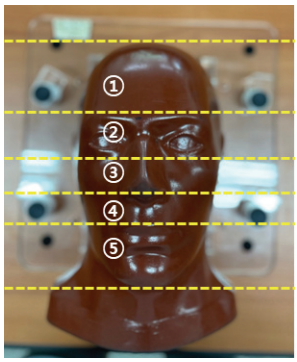
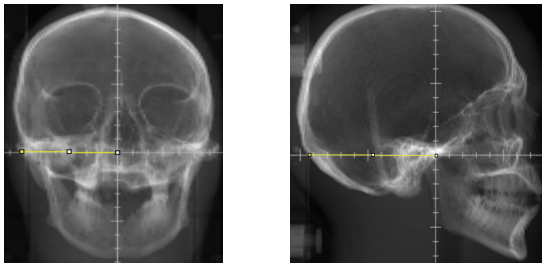


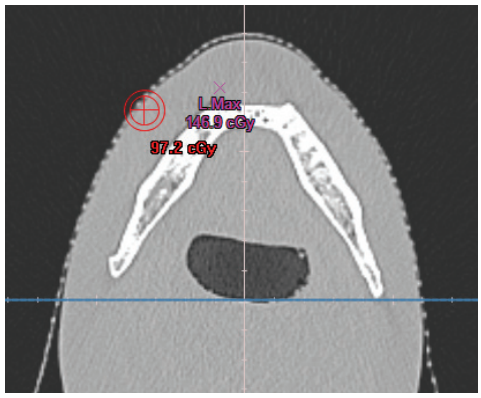
Fig. 2. Dose point on the phantom for evaluation of dose from scattered ray.



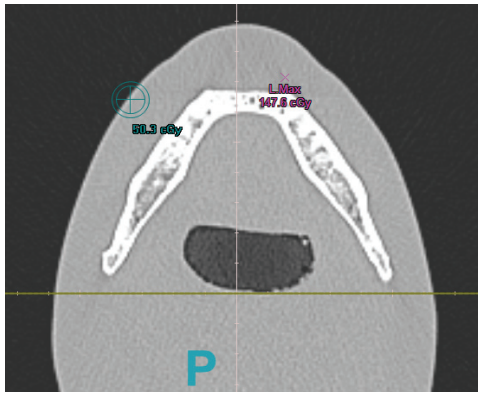
(a) Anterior (b) Lateral projection

Fig. 3. DRR images for evaluation of set-up reproducibility.

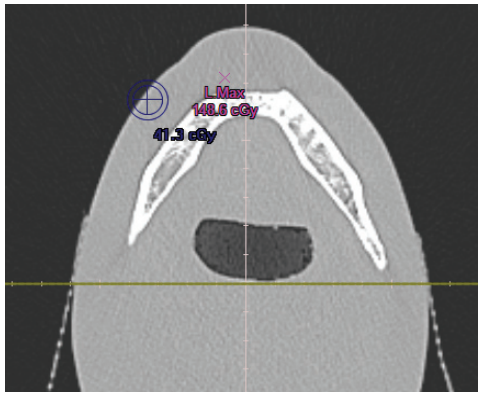
DRR은 정면영상과 측면영상을 각각 재구성하였으며 각 마스크 타입별로 첫 번째 CT 스캔 영상의 DRR을 기준하여 각 방향으로의 셋업 차이를 영상분석도구인 ImageJ(NIH, US)로 확인하였다. 정면영상 DRR에서 X축(좌우방향) 확인을 위해 회전중심점에서 광대뼈 가로축까지의 거리를 측정, 측면영상 DRR에서 Y축(앞뒤방향) 확인을 위해 회전중심점에서 마루뼈 경계까지의 거리를 측정, Z축(머리발방향) 확인을 위해 회전중심점에서 뒤통수뼈 가로축 경계까지의 거리를 측정하여 비교하였다. 재현성의 오차는 첫 번째 CT스캔의 DRR에서의 거리를 기준으로 두 번째와 세 번째 CT스캔의 DRR에서 나타난 차이를 평균하여 상대적인 오차로 표현하였다. 셋업에서의 세 축 방향에 대한 차이 확인과 함께 회전여부에 대한 셋업오차도 확인하였다. 첫 번째 CT스캔 영상을 기준으로 정중시상면과 아래턱뼈 사이의 각도를 전산화방사선치료시스템에서 확인하여 비교하였다.



(a) Mask covering whole face



(b) Mask covering except eye and mouth site



(c) Mask covering forehead and chin

Fig. 4. Radiation therapy planning and point dose on the same point at each mast type.

III. RESULT

1. 표면선량 비교분석

얼굴을 커버한 영역이 다른 각 mask 타입에 대하여 Fig. 4의 예시와 같이 동일한 지점을 선정 후 방사선치료계획시스템을 통하여 지점선량을 계산하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. 또한 마스크 타입 A를 기준으로 마스크 타입B와 타입C의 선량변화 값의 평균과 표준편차 그리고 p값은 Table 2과 같다. 마스크에서 얼굴을 커버하는 면적이 적을수록 표면의 선량은 감소하고 있으며 표면으로부터 깊이가 깊어질수록 선량의 감소 정도는 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Point Dose at each type of masks

Mask type	Mask type A			Mask type B			Mask type C		
Depth / point	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	110.7	144.3	141	112.5	145.3	141.7	112.7	146.1	142.4
2	117	143.8	140.3	131.8	144.4	140.4	133.7	145.6	141.5
3	95.7	143.6	140.8	99.4	145.4	140.9	119.1	146.7	140.9
4	103.7	146.4	142.6	108.3	147.3	143.5	111.8	148.4	144.1
5	84.2	145.4	142.7	86.5	147.1	142.8	93.6	146.4	144.6
6	94.5	143.6	139.2	91.8	144.1	139.7	101.2	144.2	140.3
7	107.7	142.4	139.2	117.5	142.3	139.8	121.2	144.5	140.8
8	111.5	131.4	138.3	125.6	142.6	139	139.4	143.4	140.3
9	54.2	139.6	137.7	91.3	139.9	137.9	105.6	140.3	138.7
10	105.6	145.8	137.5	127.3	146.1	138.3	114.8	147.7	139.6
11	103.7	145.2	141.1	119.1	145.9	141.4	112.8	146.3	142.3
12	100.9	141.5	140	124.8	142.5	140.4	123.2	142	141.8
13	112.9	146.4	137.9	124.9	149	139.3	128.6	150.3	139.9
14			143.3			144.8			146.2

dose [cGy]
depth [cm]

Table 2. Dose difference referred from mask A

Mask type / Depth	Mask type B			Mask type C		
	Dose difference	p	t	Dose difference	p	t
All	-4.7 ± 8.19	0.001	-3.653	-6.7 ± 10.1	<0.001	-4.235
Surface	-12.2 ± 10.9	0.002	-4.025	-16.6 ± 12.8	0.001	-4.658
1 cm	-1.7 ± 2.93	0.055	-2.125	-2.50 ± 3.01	0.011	-2.968
2 cm	-0.6 ± 0.45	<0.001	-4.914	-1.6 ± 0.65	<0.001	-8.882

dose difference : mean ± SD [cGy]

2. 셋업의 재현성

반복된 셋업에 의한 각 방향으로의 오차는 Table 3와 같이 나타났으며 회전오차 확인을 위한 회전측정값은 Table 4과 같다.

셋업의 재현성차이 확인에서 각 마스크에서의 최대 차이는 얼굴 전체를 커버한 타입A 마스크에서 X축 방향으로 2.7%(약 1.7 mm), 눈과 입 부분을 가리지 않은 타입B 마스크에서 Y축 방향으로 3.5%(약 3.2 mm), 눈에서 입까지 가리지 않은 타입C 마스크에서 X축 방향으로 2.9%(약 1.8 mm)를 나타냈다. 이는 AAPM report13에서 제시하는 95% confidence level을 만족하는 spatial uncertainties level을 초과하지 않는 수준임을 확인하였다.

셋업의 회전 오차확인에서는 첫 번째 CT스캔영상을 기준으로 타입A 마스크에서 0.6°, 0.9°, 타입B 마스크에서 0.1°, -0.2°, 타입C 마스크에서 0.6°, 0.0°의 차이를 보여 셋업 회전오차가 1° 미만으로 매우 낮게 나타남을 확인하였다.

Table 3. Difference of reproducibility in each set-up

mask type / axis	X	Y	Z
A	2.7 %	0.2 %	0.5 %
B	1.7 %	3.5 %	2.9 %
C	2.9 %	0.8 %	1.6 %

Table 4. Rotation of reproducibility in each set-up

mask type / CT scan	1st	2nd	3rd
A	93.5°	94.1°	94.4°
B	91.3°	91.4°	91.1°
C	91.7°	92.3°	91.7°

IV. DISCUSSION

방사선치료에서 환자는 부득이하게 산란선 및 누설선으로 인한 불필요한 방사선피폭을 받게 된다[9]. 방사선치료에서 사용하는 고에너지의 방사선

은 빌드업(build-up) 현상을 통한 피부보호효과가 있으나 고정용구로 인하여 피부선량이 증대되면 방사선치료로 인한 피부염 등의 부작용이 유발될 수 있다[10]. 특히 두·경부 환자의 자세유지를 위한 고정용구로 인하여 발생되는 산란선은 예측하기 어려운 피부선량의 증가를 야기하게 된다. Jeon 등의 연구에서 일반적인 열가소성 플라스틱 마스크와 부분적인 두께 차이를 가진 특수치료용 열가소성 플라스틱 마스크의 피부선량을 전산화치료계획 시스템으로 비교하였으며 마스크가 두꺼운 부분에서 표면선량이 비교적 높게 보임을 확인하였다[11]. 이러한 마스크 고정용구에서 기인한 산란선의 영향으로 인한 수정체 선량을 줄이기 위해 Yang 등의 연구에서는 마스크의 안구 부분을 오려내어 제거한 후 팬텀을 이용하여 선량을 측정하였고 약 27%의 표면선량 감소효과가 나타남을 확인하였다[12].

피부 곡면에서의 열가소성 마스크 고정용구로 인한 피부선량증가를 몬테카를로 시뮬레이션과 실측을 통하여 확인한 연구에서 마스크 사용 시 엑스선의 접선 각도 부근에서는 치료선량과 거의 같은 값을 가지는 높은 피부선량을 보이는 결과를 확인하였다[13]. 이처럼 열가소성 플라스틱 마스크 고정용구는 적지 않은 피부선량의 증가를 발생시킬 수 있으므로 재현성에 문제가 없는 수준에서 피부를 커버하는 면적을 적절히 감소시키는 것은 불필요한 피폭 선량 감소에도 매우 도움이 될 수 있다는 것을 알 수 있다.

그러나 고정에 필요한 부분만을 남겨두고 마스크를 제거하여 표면선량의 변화를 확인한 연구는 찾아보기 어려며 이에 본 연구에서는 마스크의 적절한 얼굴 커버 면적을 줄이고 재현성의 차이를 확인하면서 피부선량을 감소시키는 것이 가능함을 확인하였다. 그러나 본 연구는 팬텀의 1 cm 및 2 cm 깊이의 선량 실측이 불가능한 이유로 전산화치료계획시스템을 이용한 선량계산으로 마스크 별 선량을 비교하였는데 전산화치료계획시스템에서 계산한 선량은 계산을 위해 설정한 격자(grid)와 CT 영상의 용적요소(voxel)의 크기 등에 따라 차이가 나타날 수 있으며 실제 측정값과도 차이를 보일 수 있다[11]. 또한 본 연구는 실제 환자가 아닌 팬텀을 이용하여 실험을 하였으므로 이는 환자마다 다른 구조적인 차이, 마스크 제작의 인적 오차, 그리고 환자 상태 변화 등을 반영하지 않은 점을 고려하여야 한다[14].

본 연구에서 사용한 세 종류의 마스크 타입에 따라 셋업 오차의 방향성이 보이고 있으며 이는 고정부위의 차이와 셋업을 시행하는 연구자의 인적 요인이 반영된 것으로 판단되므로 추후에 더 다양한 방식과 많은 연구 인력동원을 통하여 인적 요인으로 인한 오차의 발생을 줄일 수 있는 연구가 이어져야 할 것으로 사료된다. 또한 마스크의 종류에 따른 재료 및 조성의 차이도 표면선량과 고정효율에 영향을 미칠 것으로 예상되므로 이를 고려하는 선량학적 평가 연구가 이어져야 할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

방사선치료에서 셋업의 재현성과 빔의 경로 확보를 위하여 고정용구를 사용하는 경우가 많다. 그러나 고정용구의 사용으로 오히려 빔의 경로에서 산란선이 발생하여 피부 표면에 불필요한 방사선량을 전달할 수 있다. 본 연구에서는 두·경부 방사선치료에서 사용하는 열가소성 플라스틱 마스크 고정용구로 인한 피부표면에서의 선량증가를 정량적으로 확인하였다. 또한 이와 같은 표면선량의 증가를 피하기 위하여 얼굴을 커버하는 면적을 줄인 고정용구 마스크의 셋업 재현성까지 함께 확인하였다.

팬텀을 이용한 본 연구에서는 열가소성 플라스틱 마스크로 얼굴 전체를 커버하지 않고 고정부위를 줄여 셋업에 필요한 면적만을 커버하는 방법으로 셋업의 재현성을 확인하면서 치료와 관련이 적은 피부 표면선량을 유의하게 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 팬텀을 대상으로 한 한계점으로 실제 환자의 경우 발생될 수 있는 변수를 고려할 필요가 있어 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Reference

[1] Radiation Therapy Technology Study, *Radiation Therapeutics*, Chung-Ku Publisher, 2022

[2] J. H. Lee, J. H. Park, H. D. Park, "A study on the reproducibility of patient posture during radiation therapy", The Journal of Korean Society for Radiation Therapy, Vol. 9, No. 1, pp. 46-49, 1997.

[3] M. K. Grag, R. Yaparpalvi, J. J. Beitler, "Loss of cervical spinal curvature during radiotherapy for head-and-neck cancers: the neck moves, too", International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, Vol. 58, No. 1, pp. 185-188, 2004. https://doi.org/10.1016/s0360-3016(03)01457-3

[4] G. Harding, H. Strecker, R. Tischler, "X-ray imaging with Compton-scatter radiation", Philips Technical Review, Vol. 41, pp. 46-59, 1983.

[5] S. W. Smith, R. A. Kruger, "A signal processing model of diagnostic x-ray scatter", Medical Physics, Vol. 13, No. 6, pp. 831-835, 1986. https://doi.org/10.1118/1.595806

[6] P. C. Johns, M. Yaffe, "Scattered radiation in fan beam imaging systems", Medical Physics, Vol. 9, No. 2, pp. 231-239, 1982. https://doi.org/10.1118/1.595076

[7] M. C. Jeon, H. S. Lim, M. S. Han, "The Study About Attenuation of Scatter Ray According to Distance Inverse Square Law at General Projection", Journal of radiological science and technology, Vol. 34, No. 3, pp. 183-188, 2011.

[8] D. Y. Lee, "A Study on the Analysis of Radiation Dose for Thermoplastic Material and 3D Print Filament Materials", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 15, No. 2, pp. 181-189, 2021. https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.2.181

[9] J. S. Kang, D. K. Jung, Y. M. Kim, "A Study on the Surface Dose Distribution by Scattered and Leakage Radiation in Radiation Therapy", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 3, pp. 351-357, 2018. https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.3.351

[10] J. Y. Je, C. W. Park, K. S. Noh, "Measurement of Skin Dose from Using the Treatment Immobilization Devices", Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 32, No. 1, pp. 107-110, 2009.

[11] S. J. Jeon, C. J. Kim, D. Y. Kwon, J. S. Kim, "Feasibility study of the usefulness of SRS thermoplastic mask for head & neck cancer in tomotherapy", The Journal of Korean Society for Radiation Therapy, Vol. 26, No. 2, pp. 355-362, 2014.

[12] Y. M. Yang, B. S. Park, J. H. Ahn, K. W. Song, "The evaluation of lens absorbed dose according to the optimold for whole brain radiation therapy", The Journal of Korean Society for Radiation Therapy, Vol. 26, No. 1, pp. 77-81, 2014.

[13] S. K. Kim, T. S. Jeung, S. W. Lim, Y. M. Park, D. Park, "Skin Damage Sustained During Head-and-Neck and Shoulder Radiotherapy Due to the Curvature of Skin and the Use of Immobilization Mask", Progress in Medical Physics, Vol. 21, No. 1, pp. 86-92, 2010.

[14] H. Y. Lee, S. M. Bae, J. S. Kim, T. Y. Kang, J. W. Kwak, G. M. Back, "Influence of Aquaplastic Mask Immobilization on Patient Positioning in Head & Neck Radiotherapy", The Journal of Korean Society for Radiation Therapy, Vol. 24, No. 2, pp. 175-181, 2012.

방사선치료용 열가소성 플라스틱 마스크의 산란선 감소를 위한 마스크 변형에 관한 연구

이성민[1], 이준영[2], 김재현[3], 정경환[4], 서정민[1,*]

[1]부산가톨릭대학교 방사선학과
[2]인제대학교 해운대백병원 방사선종양학과
[3]다대수병원 영상의학과
[4]대구보건대학교 방사선과

요 약

두·경부 방사선치료에서 환자자세 고정과 재현성을 위하여 사용하는 열가소성플라스틱 마스크는 피부와 밀착되어 산란선을 유발한다. 고정용구 마스크에서 발생되는 산란선으로 인한 피부선량의 증가를 확인하기 위하여 고정용구의 피부밀착 부위를 감소시킴에 따른 산란선의 감소를 CT 스캔한 이미지를 이용하여 전산화치료계획 시스템을 통해 확인하였다. 또한 고정용구의 커버 부위 감소에 따른 셋업의 재현성문제를 확인하기 위하여 DRR과 CT영상을 이용하여 셋업의 차이를 확인하였다. 고정용구로 커버하는 부위를 감소시킴에 따라 피부표면의 선량은 유의하게 감소하였으며 얼굴 전체를 커버하여 고정하지 않아도 재현성에 재현성에 큰 차이가 없음을 확인하였다.

중심단어: 방사선치료, 산란선, 피부선량, 고정용구, 열가소성플라스틱

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이성민	부산가톨릭대학교 방사선학과	학부생
(공동저자)	이준영	인제대학교 해운대백병원 방사선종양학과	방사선사
	김재현	다대수병원 영상의학과	방사선사
	정경환	대구보건대학교 방사선과	겸임교수
(교신저자)	서정민	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수