

## Analysis of Pitch and Yaw Deviations Using an Aid-Pillow for the Head and Neck Cancer on the TomoTherapy

Jae Hong Jung\*<sup>†</sup>, Kwang Hwan Cho\*, Yong Ho Kim\*, Seong Kwon Moon\*, Chul Kee Min\*, Eun Seog Kim\*, Kyung-Bae Lee<sup>†</sup>, Joo-Young Jung<sup>†</sup>, Tae-Suk Suh<sup>†</sup>, Bo-Young Choe<sup>†</sup>

\*Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Soonchunhyang University Bucheon,

<sup>†</sup>Department of Biomedical Engineering and Research Institute of Biomedical Engineering, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

The aim of this study was to analysis of the pitch and yaw deviations with or without using an aid-pillow for the head and neck cancer on the TomoTherapy. A total of 14 head and neck patients were selected to without-group (n=7) and with-group (n=7). A total of 333 MVCT image sets used to evaluate the translational (lateral, longitudinal and vertical) and rotational adjustments (pitch, roll and yaw) with 153 and 180 MVCT image sets at without- and with-group, respectively. Deviations of without- and with-groups were 0.12° and 0.09°, respectively at pitch. And, deviations without- and with-groups were 0.47° and 0.17°, respectively at yaw. In generally, with-group had reduced than without-group for the pitch and yaw deviations. Therefore, using an aid-pillow, it will able to increase the reproducibility of treatment for the head and neck cancer patients on the TomoTherapy.

**Key Words:** TomoTherapy, Head and neck cancer, Aid-pillow, Pitch, Yaw

### 서 론

방사선치료에서 두경부암(head and neck cancer)은 치료 부위와 함께 주위 인접 정상장기(organ at risk, OAR)가 매우 복잡하게 존재하고 있다. 이러한 이유로 일반적인 3차원 입체조형 방사선치료(3D conformal radiation therapy, 3D-CRT)와 함께 최근에는 토모테라피(Hi-Art II, TomoTherapy, USA)와 같은 세기조절 방사선치료(intensity modulated radiation therapy, IMRT)를 이용하여 치료성적을 높이고자 노력하고 있다. 그러나, 두경부암 방사선치료에서는 정상장기의 방사선 피해를 줄이는 효과에도 불구하고, 치료 중 환자 측 인자의 변화 즉, 체중감소(weight loss)와 증가(growth)으로 인한 종양의 변형 및 위치변화 등이 발생할 수 있다.<sup>1-3)</sup> 이

와 같은 현상은 종양에 정확한 표적화(targeting)를 방해하는 요인이 된다. 그러므로, 정확한 선량전달을 위하여 영상 유도 방사선치료기술(image guided radiation therapy, IGRT)이 필수적이며, 치료의 재현성(reproducibility)을 높이기 위하여 적절한 고정기구 제작 및 사용을 신중히 고려해야 한다.

IGRT는 방사선 치료분야에서 여러 형태로 사용되고 있다.<sup>4,7)</sup> 토모테라피에서의 IGRT기법으로는 매 치료 전에 고에너지 전산화단층촬영영상(megavoltage computed tomography, MVCT)을 획득하여 해부학적 장기의 변화 특히, 치료 간 자세오차(inter-treatment error)를 평가하여 표적오차를 확인하고 보정한다. 일반적으로, 표적오차는 종축 일치도(translational adjustments (lateral, longitudinal, vertical))와 회전축 일치도(rotational adjustments (pitch, roll, yaw))로 나누어 분석할 수 있다. 여기서, pitch(°)는 x방향에 대하여 회전축(axis), roll(°)는 y방향에 대하여 회전축 그리고, yaw(°)는 z방향에 대하여 회전축으로 정의된다.<sup>8)</sup> 또한, 종축방향에 대하여 오차는 토모테라피의 테이블(couch)을 이용하여 보정이 가능하며, 회전축 각도 중 roll은 젠트리의 각도를 통하여 보정이 가능하다.<sup>8)</sup> 그러나, pitch와 yaw의 오차는 소프트웨어를 이용한 영상정합과정에서 육안적으로 확인은 가능하지만, 코브라(cobra) 움직임을 가진 테이블의 제약

본 연구는 교육과학기술부 및 한국연구재단의 지원을 받아 2012년도 원자력연구개발사업(원자력 연구기반 확충사업, 미래연구 원자력기초공동연구소, 과제번호: 2012000486)과 2009년도 해외우수 연구기관유치사업(과제번호: 2009-00420) 수행된 연구임.

이 논문은 2012년 12월 12일 접수하여 2013년 3월 6일 채택되었음.

책임저자 : 조광환, (420-767) 경기도 부천시 원미구 조마루로 170

순천향대학교 부천병원 방사선종양학과

Tel: 032)621-5881, Fax: 032)621-5885

E-mail: medphy@schmc.ac.kr

때문에 치료에 대하여 보정은 불가능하다. 환자 치료 시, pitch와 yaw의 오차는 정확한 선량전달을 위하여 재 위치잡이(repositioning)가 필요할 때가 있다. 회전축 오차와 관련하여 Michigan University 그룹에서는 pitch와 roll에 대한 오차를 줄이기 위하여 선형가속기(linear accelerator, LINAC)의 테이블과 함께 보정할 수 있는 장치를 개발하였고, 이 장치를 이용해 오차범위  $\pm 0.03^\circ$  이내로 보정이 가능하다고 밝힌 바 있다.<sup>9,10)</sup> 또한, Kaiser 등<sup>8)</sup>은 두경부암 환자 총 15명을 대상으로 MVCT 영상을 이용하여 pitch, roll과 yaw에 대한 오차를 확인한 바 있었다. 그 결과로써, pitch는  $-0.24^\circ \pm 1.19^\circ$ , roll은  $-0.12^\circ \pm 1.53^\circ$ 이고, yaw는  $0.25^\circ \pm 1.42^\circ$ 였다. 여기서, 그는 회전축 오차는 토모테라피 테이블의 하드웨어적인 움직임과 연관성이 높으며, 전 치료과정에서 확인이 필요하다고 언급하였다. 그리고, 회전축 일치도 중 보정이 불가능한 yaw 오차에 대하여 Boswell 등<sup>11)</sup>의 연구에서는 토모테라피의 테이블 이동(lateral moving) 알고리즘을 이용하여 긴 치료구간(long target)에 대하여 보정 방법을 소개하였다. 그러나, pitch의 보정과 관련된 연구는 아직 미비한 수준이다.

두경부암 방사선치료에서는 고정기구를 위하여 각 환자별 맞춤형 마스크(aquaplast mask)을 제작하고 사용한다. 적절한 고정기구는 치료의 재현성에 중요한 요소이다. 이와 관련하여, Sharp 등<sup>12)</sup>은 환자 총 241명을 대상으로 두부 및 경부에 사용하는 head mask과 head shoulder mask 2가지 종류의 고정기구에 대한 정확성과 재현성을 비교 분석한 바 있다. 최근, 두경부암에 대한 오차를 다각도로 분석하려는

시도와 함께 여러 연구를 통하여 그 중요성이 대두되고 있다. Giske 등<sup>13)</sup>은 환자 맞춤형 고정기구(custom-made device)를 제작하고, 9개의 관심영역(region of interest, ROI)을 이용하여 두경부암 환자 총 45명에 대한 고정기구의 불확도(uncertainty)를 측정하는 바 있었다. 그러나, 환자 별 맞춤형 고정기구를 사용함에도 불구하고, 일반적인 마스크와 동일한 결과가 나왔고, 특별한 차이점을 발견하지 못했다. 이에 앞서, Zhang 등<sup>14)</sup>은 다중 관심영역(multiple ROIs)을 이용하여 경추(cervical spine) 여섯 번째(C6)에서 큰 오차를 확인하였고, 그는 경부(neck area)에서 곡률(curvature)의 원인으로 인한 회전축의 각도변화가 발생하기 때문에 신중한 고정기구 제작과 함께 변화를 줄일 필요가 있다고 언급한 바 있다.

방사선치료는 매 회 치료의 정확성 및 재현성을 높이기 위하여 고정기구를 사용하게 된다. 두경부암에서도 고정기구인 마스크를 사용하여 치료의 정확성 및 재현성을 높이고 있다. 그러나, 토모테라피 테이블의 하드웨어적인 제약 때문에 회전축 일치도 중 pitch와 yaw의 변화에 대하여 확인만 가능할 뿐 직접적인 보정은 불가능하다. 그러므로, 정확한 선량전달을 위하여 pitch와 yaw의 변화를 줄일 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 두경부암 환자를 대상으로 보조기구(aid-pillow) 사용에 따른 pitch와 yaw의 변화를 분석하고자 하였다.

### 재료 및 방법

본 연구를 위하여 두경부암 환자 총 14명을 선정하였으

Table 1. Patient characteristics with and without using an aid-pillow.

Patient	Sex	Diagnosis	Aid-pillow (N/Y)	Fractions (#)	MVCT image set (#)	Tumor length (mm)
1	M	Oropharynx	N	28	43	180
2	F	Nasopharynx	N	10	42	170
3	M	Nasopharynx	N	30	44	220
4	M	Nasopharynx	N	23	51	215
5	M	Nasopharynx	N	28	43	185
6	M	Tonsilar	N	24	42	180
7	M	Tonsilar	N	10	41	155
8	M	Oropharynx	Y	25	39	165
9	M	Nasopharynx	Y	12	37	115
10	M	Nasopharynx	Y	30	42	210
11	M	Nasopharynx	Y	33	44	170
12	M	Hypopharynx	Y	30	64	165
13	M	Tonsilar	Y	30	38	150
14	M	Tonsilar	Y	20	34	170

N: without aid-pillow; Y: with aid-pillow.

며, Table 1에서는 aid-pillow 미사용 그룹(without)과 사용 그룹(with)으로 구분하여 보여주고 있다. 상병명(disease)은 미사용 그룹에서는 Oropharynx (n=1), Nasopharynx (n=4), Tonsillar (n=2)이고, 사용 그룹에서는 Oropharynx (n=1), Nasopharynx (n=3), Hypopharynx (n=1), Tonsillar (n=2)였다. 모든 환자는 두부, 경부 그리고, 어깨를 포함할 수 있는 마스크(5-PT HEAD NECK SHOULDER MASK, Orfit, Belgium)를 사용하였고, kVCT (SOMATOM EMOTION, SIEMENS, Germany)영상을 얻었다. Fig. 1에서는 aid-pillow 미사용(A)와 사용 환자(B)의 kVCT영상 시상면(sagittal plane)을 보여주고 있다. 여기서, 보조기구인 aid-pillow는 스티로폼으로 제작된 썰기(wedge) 형태(약 100 mm×250 mm×40 mm, angle=약 22°)이며, aid-pillow의 위치는 환자의 경추(C5)와 흉추(3)사이로써, 등(back) 하단부에 위치하였다. 모든 환자는 모의치료 시 똑바로 누운 자세(supine position)에서 마스크를 제작하였다. 또한, 치료계획 시 기준점(reference points)를 정하기 위하여 모의치료실에 설치된 레이저(laser)를 이용하여 마스크 체표면을 기준으로 좌, 우와 상부에 납 표지자(lead indicator) 3개를 각각 위치시켰다. kVCT는 슬라이스 두께(slice-thickness: 3 mm)와 해상도(resolution: 512×512 pixels)로 촬영되었고, 촬영된 영상은 치료계획시스템인 pinnacle version 8.0 (Philips Medical Systems, Andover, MA)으로 전송하여 육안적 종양체적(gross tumor volume, GTV) 및 관심영역을 그렸다. 이후, 토모테라피 방사선치료를 위한 치료계획은 version 4.0.4의 토모테라피 치료계획시스템(Hi-Art II, TomoTherapy, USA)에서 수행하였다.

모든 환자는 매 회 치료 전 MVCT를 수행했다. MVCT촬영은 크게 3가지 모드(mode)로써, 겐트리가 360도 1회 회전하는 동안 couch 이동거리(mm)로 나타내는 pitch 1, 2, 3에 따라 각각 fine (2 mm), normal (4 mm) 그리고, coarse mode

(6 mm)로 나눌 수 있다.<sup>15)</sup> 본 연구에서 모든 환자는 coarse mode, 슬라이스 두께(slice-thickness: 4 mm)와 해상도(resolution: 512×512 pixels)로 촬영되었다. Table 1에서는 각 환자의 종양 길이와 함께 치료 횟수(fractions)와 MVCT image sets을 보여주고 있으며, 총 333 image sets로써, 미사용 그룹(153 image set)이고, 사용 그룹(180 image set)였다. 여기서, MVCT수행 시 촬영 길이는 GTV와 치료계획 표적체적(planning target volume, PTV)를 충분히 포함하여 촬영하였다. MVCT scan length (mm)는 미사용 그룹은 평균 약 262 mm (range: 약 216 mm~304 mm)이고, 사용 그룹은 평균 약 255 mm (range: 약 186 mm~384 mm)였다. 이후, TomoTherapy operator station의 소프트웨어를 통하여 자동 영상정합(automatic image registration)을 수행하였고, 각 환자에 대하여 위치잡이오차는 자동 영상정합 시 bone technique을 기준으로 세가지 해상도(standard, fine, superfine)를 각각 수행하여 종축 일치도(lateral, longitudinal, vertical)과 회전축 일치도(pitch, roll, yaw)를 구하였다. 각 환자에 대하여 최종 오차는 평균값으로 정하였다. 여기서, 세가지 해상도간의 편차는 미사용 그룹에서 pitch와 yaw는 각각 평균  $0.13^{\circ} \pm 0.07^{\circ}$ 과  $0.10^{\circ} \pm 0.04^{\circ}$ 였고, 사용 그룹은 평균  $0.09^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ 과  $0.11^{\circ} \pm 0.04^{\circ}$ 였다.

본 연구에서 aid-pillow 사용에 따른 pitch와 yaw의 변화를 확인하기 위하여 Van Herk<sup>16)</sup>의 문헌을 참조하여 각 환자(p)의 통계적 오차(random error,  $\sigma_p$ )와 계통적 오차(systematic error,  $\Sigma_p$ )을 구하였다. 이후, 두 그룹간의 차이를 확인하기 위해 평균(group systematic error,  $M_g$ ), 계통적 오차(SD of systematic error,  $\Sigma_g$ )와 통계적 오차(SD of random error,  $\sigma_g$ )을 구하였다.

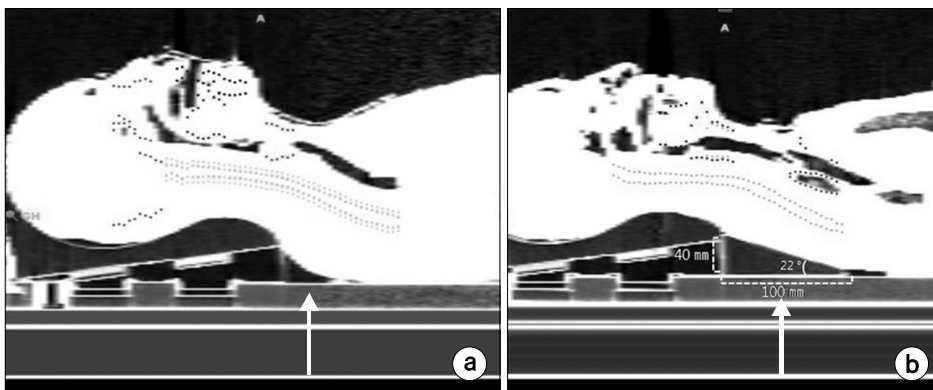


Fig. 1. The sagittal view of kVCT image (a) with- and (b) without using an aid-pillow. Arrow indicates the location each of without or with aid-pillow (Wedge type; approximately 100 mm×250 mm 40 mm; angle=approximately 22°).

결 과

토모테라피 방사선치료 시 두경부암 환자는 경추와 흉추 사이에서 곡률이 발생할 수 있다. Fig. 2a는 치료계획용 kVCT영상(gray)으로써, 표시된 점선(dot line)은 종양과

OARs (spinal cord, mandible 등)을 나타내고 있다. 또한, Fig. 2b~d는 실시간으로 촬영된 MVCT영상(blue)으로써, 각각 횡단면(transverse), 시상면(sagittal) 그리고, 관상면(coronal)으로 보여주고 있다. 여기서, 동일한 레벨을 표시해주는 화살표(red arrow)와 함께 MVCT 영상간의 종축과 회전축 오차를 육안적으로 확인할 수 있다. 특히, 경추와 흉추 사이

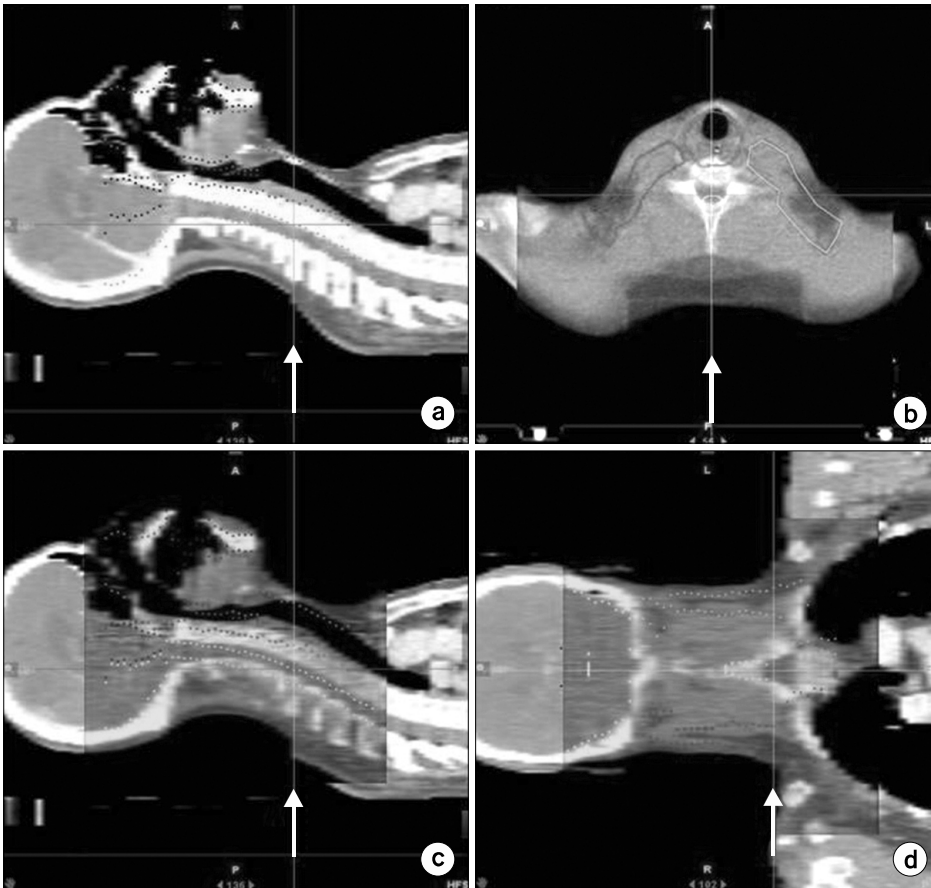


Fig. 2. These 4-split figures are (a) kVCT (gray) and (b~d) MVCT images (cyan) for head and neck patients without using an aid-pillow. Dots are spinal cord (green), mandible (blue), tongue (violet) and another normal tissue as OARs. Arrow (red) indicates the vicinity of the cervical 7<sup>th</sup> area in MVCT image and, the location curvature area on same level in overall images. Here, the sagittal view of (c) MVCT image with the curvature of neck area through daily MVCT imaging.

Table 2. Translational and rotational adjustments proposed by Van Herk<sup>16)</sup> using data from all patients.

Direction	Aid-pillow							
	Without		With		Without		With	
	$M_g$		$\Sigma_g$		$\sigma_g$			
Lateral (mm)	2.73	2.07	1.17	1.09	3.38	0.78		
Longitudinal (mm)	1.84	1.38	1.17	0.56	1.13	1.59		
Vertical (mm)	4.59	2.83	2.04	1.54	4.48	1.02		
Pitch (°)	0.36	0.29	0.12	0.09	0.39	0.28		
Roll (°)	0.47	0.37	0.18	0.14	0.50	0.29		
Yaw (°)	0.55	0.33	0.47	0.17	0.26	0.36		

$M_g$ : group systematic error;  $\Sigma_g$ : SD of systematic error,  $\sigma_g$ : SD of random error.

에서 급격한 곡률이 발생된다는 점을 확인할 수 있다. 이로 인한 결과는 보정이 불가능한 pitch의 변화를 야기시키고, 따라서 치료의 재현성에 직접적인 영향을 줄 수 있다.

Table 2에서는 종축과 회전축 오차에 대하여 두 그룹간의 계통적 오차( $M_g$  and  $\Sigma_g$ )와 통계적 오차( $\sigma_g$ )를 보여주고 있다. 먼저, lateral의 계통적 오차는 미사용 그룹 2.73 mm±1.17 mm이고, 사용 그룹 2.07 mm±1.09 mm였다. Longitudinal은 미사용 그룹 1.84 mm±1.17 mm이고, 사용 그룹 1.38 mm±0.56 mm였다. Vertical은 미사용 그룹 4.59 mm±2.04 mm이고, 사용 그룹 2.83 mm±1.54 mm였다. 결과적으로 종축 방향에서 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 계통적 오차가 작았다. 그리고, pitch는 미사용 그룹 0.36°±0.12°이고, 사용 그룹 0.29°±0.09°였다. Roll은 미사용 그룹 0.47°±0.18°이고, 사용 그룹 0.37°±0.14°였다. Yaw는 미사용 그룹 0.55°±0.47°이고, 사용 그룹 0.33°±0.17°였다. 종축 방향과 마찬가지로 회전축에서 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 계통적 오차가 작았다.

마지막으로, lateral의 통계적 오차는 미사용 그룹 3.38 mm이고, 사용 그룹 0.78 mm였다. Longitudinal은 미사용 그룹 1.13 mm이고, 사용 그룹 1.59 mm였다. Vertical은 미사용 그룹 4.48 mm이고, 사용 그룹 1.02 mm였다. 결과적으로 종축 방향에서 longitudinal를 제외하고 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 통계적 오차가 작았다. 그리고, pitch는 미사용 그룹 0.39°이고, 사용 그룹 0.28°였다. Roll은 미사용 그룹 0.50°이고, 사용 그룹 0.29°였다. Yaw는 미사용 그룹 0.26°이고, 사용 그룹 0.36°였다. 회전축에서 yaw를 제외하고 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 통계적 오차가 작았다. Fig. 3

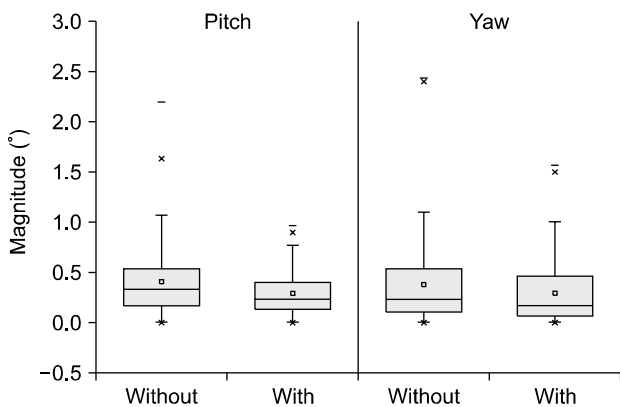


Fig. 3. The box plots show that the mean, standard deviation, and minimal/maximal values of pitch and yaw deviations from a total of 14 patients in this study (without aid-pillow and with aid-pillow groups).

는 aid-pillow 미사용과 사용 그룹에 대해 측정된 데이터로부터 pitch와 yaw 변화를 보여주고 있다.

## 고 찰

본 연구에서는 두경부암 환자를 대상으로 보조기구로써, aid-pillow 사용에 따른 pitch와 yaw의 변화를 분석하였다. 토모테라피는 소프트웨어의 자동 영상정합 과정을 통하여 종축과 회전축 일치도의 변화를 확인할 수 있다. 그러나, 회전축인 pitch와 yaw는 소프트웨어적으로 오차 확인이 가능하지만, 토모테라피 테이블의 하드웨어적인 제약 때문에 치료 시 오차에 대한 보정이 불가능하다. 종축과 회전축 일치도와 관련하여 Hong 등<sup>17)</sup>은 표식자(fiducial array)와 광학 추적 카메라(optical tracking camera)을 이용하여 두경부암 환자 총 20명을 대상으로 평가한 결과, 종축 방향에 대하여 3D-vector 값의 평균과 표준편차는 6.97 mm±3.63 mm였다. 그리고, 회전축 일치도에 대하여 pitch는 0.5°±2.3°, roll은 1.4°±3.4°이고, yaw는 0.5°±1.6°였다. 본 연구에서 3D-vector 값은 aid-pillow 미사용 그룹은 6.25 mm±1.34 mm, 사용 그룹은 4.28 mm±1.58 mm였다. 회전축 일치도는 aid-pillow 미사용 그룹에서 pitch는 0.36°±0.12°였고, 사용 그룹은 0.29°±0.09°였다. Roll은 미사용 그룹에서 0.47°±0.18°이고, 사용 그룹은 0.37°±0.14°였다. Yaw는 미사용 그룹에서 0.55°±0.47°이고, 사용 그룹은 0.33°±0.17°였다. Hong 등<sup>17)</sup>의 연구 결과에 비해 전반적으로 평균과 표준편차가 낮았으며, 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 종축과 회전축 일치도가 높았다. 이러한 오차에 대해서 Hong 등<sup>17)</sup>은 종축과 회전축 일치도의 변화로 인한 선량체적분포(dose volume histogram, DVH), 균일 등가선량(equivalent uniform dose, EUD), 총 평균선량(mean total dose, mTd) 그리고, 총 최대선량(maximal total dose, MTD)을 이용하여 평가함으로써, 두경부암에 대하여 IMRT치료 시 정확한 치료를 위하여 신중한 고정기구 제작과 함께 반드시 치료 중 변화를 확인할 필요가 있다고 제안하였다.

Fig. 2b~d는 곡률의 차이가 C1-2영역에서 비교적 나타나지 않았지만, 화살표가 가리키는 구간 C5-7영역에서 곡률의 변화가 급격한 점을 MVCT영상을 통하여 육안적으로 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 pitch 변화로 설명할 수 있고, 곡률의 변화 즉, pitch의 변화는 정확한 선량전달과 정상조직 피해의 최소화는 기대할 수 없다.<sup>13,14)</sup> 이와 관련하여 Kaiser 등<sup>8)</sup>은 두경부암 환자 총 15명을 대상으로 pitch와 yaw의 변화를 평가한 바 있으며, pitch에 대한 편차는

1.19°이고, yaw는 1.42°였다. 본 연구에서 pitch에 대한 편차는 미사용 그룹에서 0.12°이고, yaw는 0.47°로써, Kaiser 등<sup>8)</sup>의 연구결과에 비해 pitch는 큰 차이가 없었으며, yaw는 작았다. 이에 비해 aid-pillow 사용 그룹에서 pitch는 0.09°이고, yaw는 0.17°로써, 미사용 그룹에 비해 좋은 결과를 보였다. 또한, Kaiser 등<sup>8)</sup>의 연구에서 회전축 오차로 인한 표적의 오차에 대하여 표적길이 15 cm에서 roll 3° 차이는 표적의 끝 모서리 오차는 약 4 mm가 발생하게 되고, 이와 같은 오차는 IGRT에서 결코 작지 않다고 언급하였다.<sup>8)</sup> 또한, Kaiser 등<sup>8)</sup>의 연구에서 회전축간의 상관관계가 성립된다고 언급하였으며, yaw와 roll간의 상관관계수  $-0.295$  ( $p < 0.01$ )로 확인하였다. 본 연구에서도 미사용 그룹(0.251,  $p < 0.05$ )와 사용 그룹(0.174,  $p < 0.05$ )에서 yaw와 roll간의 상관관계를 확인할 수 있었다. 이와 같은 상관관계 확인은 종축과 회전축간에 미치는 영향을 간접적으로 판단하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 본다.

## 결 론

본 연구에서는 두경부암에 대하여 토모테라피 방사선치료에서 aid-pillow 사용에 따른 pitch와 yaw의 변화를 분석하였다. Pitch의 변화 즉, 편차는 미사용 그룹 0.12°이고, 사용 그룹 0.09°였다. 그리고, yaw는 미사용 그룹 0.47°이고, 사용 그룹 0.17°였다. 전반적으로 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 편차가 작았다. 따라서, 토모테라피를 이용하여 두경부암 방사선치료 시 aid-pillow를 사용하여 pitch와 yaw의 변화를 줄임으로써, 치료의 재현성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Park S, Cheong KH, Hwang TJ, et al: When should an adaptive plan be considered for head-and-neck cancer patients undergoing tomotherapy treatment. JKPS 56:897-904 (2010)
2. Duma MN, Kampfer S, Schuster T, et al: Adaptive radiotherapy for soft tissue changes during helical tomotherapy for head and neck cancer. Strahlenther Onkol 188:243-247 (2012)
3. Loo H, Fairfoul J, Chakrabarti A, et al: Tumour shrinkage and contour change during radiotherapy increase the dose to or-

- gans at risk but not the target volumes for head and neck cancer patients treated on the tomotherapy HiArt™ system. Clinical Oncology 23:40-47 (2011)
4. Smith RP, Bloch P, Harris EE, et al: Analysis of inter-fraction and intrafraction variation during tangential breast irradiation with an electronic portal imaging device. Int J Radiat Oncol Biol Phys 62:373-378 (2005)
5. Tricher F, Ennis RD: Prostate localization using transabdominal ultrasound imaging. Int J Radiat Oncol Biol Phys 56:1225-1233 (2003)
6. Wolfgang AT, Hazim AJ, Lan AN, et al: Helical Tomotherapy: image guidance and adaptive dose guidance. Front Radiat Ther Oncol 40:162-178 (2007)
7. Guckenberger M, Meyer J, Vordermark D, et al: Magnitude and clinical relevance of translational and rotational patient setup errors: a cone-beam CT study. Int J Radiat Oncol Biol Phys 65:934-942 (2006)
8. Kaiser A, Schultheiss TE, Jeffrey YC, et al: Pitch, roll, and yaw variations in patient positioning. Int J Radiat Oncol Biol Phys 66:949-955 (2006)
9. Hornick DC, Lizenberg DW, Lam KL, et al: A tilt and roll device for automated correction of rotational setup errors. Med Phys 25:1739-1740 (1998)
10. Lizenberg DW, Balter JM, Hornick DC, et al: A mathematical model for correcting patient setup errors using a tilt and roll device. Med Phys 26:2586-2588 (1999)
11. Boswell SA, Jeraj R, Ruchala KJ, et al: A novel method to correct for pitch and yaw patient setup errors in helical tomotherapy. Med Phys 32:1630-1639 (2005)
12. Sharp L, Lewin F, Johansson H, et al: Randomized trial on two types of thermoplastic masks for patient immobilization during radiation therapy for head-and-neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 61:250-256 (2005)
13. Giske K, Stoiber EM, Schwarz M, et al: Local setup errors in image-guided radiotherapy for head and neck cancer patients immobilized with a custom-made device. Int J Radiat Oncol Biol Phys 80:582-589 (2011)
14. Zhang L, Garden AS, Lo J, et al: Multiple resions-of-interest analysis of setup uncertainties for head-and-neck cancer radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 64:1559-1569 (2006)
15. Meek SL, Harmon JF, Langen KM, et al: Performance characterization of megavoltage computed tomography imaging on a helical tomotherapy unit. Med Phys 32:2673-2681 (2005)
16. Van Herk M: Errors and margins in radiotherapy. Semi Int Radiat Oncol 14:52-64 (2004)
17. Hong TS, Tome WA, Chappell RJ, et al: The impact of daily setup variations on head-and-neck intensity-modulated radiation therapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 61:779-788 (2005)

## 토모테라피를 이용한 두경부암 방사선치료에서 Aid-pillow 사용에 따른 Pitch와 Yaw의 변화 분석

\*순천향대학교 의과대학 방사선종양학교실, †가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, 생체의공학연구소

정재홍\*<sup>†</sup> · 조광환\* · 김용호\* · 문성권\* · 민철기\* · 김은석\* · 이경배<sup>†</sup> · 정주영<sup>†</sup> · 서태석<sup>†</sup> · 최보영<sup>†</sup>

본 연구의 목적은 두경부암 환자에서 aid-pillow 사용에 따른 pitch와 yaw의 변화를 분석하고자 하였다. 두경부암 환자 총 14명을 선정하여 aid-pillow 미사용 그룹(without, n=7)과 사용 그룹(with, n=7)으로 나누어 비교 분석하였다. 총 333회의 MVCT 영상을 이용하여 미사용 그룹(153 image set)과 사용 그룹(180 image set) 각각 종축 일치도(translational adjustments (lateral, longitudinal, vertical))와 회전축 일치도(rotational adjustments (pitch, roll, yaw))를 구하였다. Pitch의 변화 즉, 편차는 미사용 그룹 0.12°이고, 사용 그룹 0.09°였다. 그리고, yaw는 미사용 그룹 0.47°이고, 사용 그룹 0.17°였다. 전반적으로 사용 그룹이 미사용 그룹에 비해 편차가 작았다. 따라서, 토모테라피를 이용하여 두경부암 방사선치료 시 aid-pillow를 사용하여 pitch와 yaw의 변화를 줄임으로써, 치료의 재현성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

---

**중심단어:** 토모테라피, 두경부암, Aid-pillow, Pitch, Yaw