

사이버나이프 6-D Skull Tracking의 유용성 평가

서울아산병원 방사선종양학과
이건호·배선명·송흥권·백금문

목 적 : 사이버나이프(Accuray Inc., Sunnyvale, CA)를 이용한 제1, 2경추의 정위체부방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)시 사용가능한 Xsight Spine Tracking(XST)과 6-Dimensional Skull Tracking(6DST)의 비교를 통해 6DST의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : 2017년 1월부터 9월까지 본원에서 사이버나이프를 이용하여 제1, 2경추에 SBRT를 진행한 환자 9명을 대상으로, 전산화단층촬영장치(Lightspeed VCT 64, General Electric Co, Waukesha, WI, USA)를 이용해서 컴퓨터 단층 영상(Computed tomography)을 획득한 후 전산화치료계획시스템(Multiplan system Version 4.6, Accuray, US)를 이용해 제 1, 2경추에 대한 XST와 6DST가 가능한 계획을 수립하였다. 1차 영상 유도를 통해 환자 자세를 보정한 후 동일 환자에 대한 XST와 6DST를 순서대로 진행하고 측정된 결과값을 비교·평가하였다.

결 과 : 제1경추를 대상으로 XST를 실시한 후 측정된 6D Couch의 Y, Z, X 축 값과 Roll, Pitch, Yaw 값 중 최대값은 0.9 mm, 0.9 mm, 0.7 mm과 1.0°, 1.0°, 1.2°로 측정되었고, 6DST의 경우 0.7 mm, 0.7 mm, 0.9 mm과 0.5°, 0.9°, 0.8°로 측정되었다. 제2경추의 XST를 실시했을 때 측정된 값 중 최대값은 0.7 mm, 0.7 mm, 0.8 mm과 0.9°, 1.0°, 1.8°였고, 6DST의 경우 0.9 mm, 0.7 mm, 0.9 mm와 0.9°, 0.9°, 1.0°로 측정되었다.

결 론 : 이번 연구를 통해서 제 1, 2 경추에 대한 XST와 6DST의 6D Couch 측정값이 모두 본원에서 기준으로 하고 있는 범위 안에서 측정되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 두 방법을 진행하는 과정에서 설정값 변경을 진행해야하는 XST보다 6DST가 영상유도절차를 간소화 시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제 1, 2 경추에 대한 SBRT를 진행할 경우 XST와 더불어서 6DST를 사용한다면 정확한 치료와 더불어서 치료 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어** : 정위체부방사선치료, 사이버나이프, 경추, 종양추적시스템

서 론

방사선치료는 정상조직의 피해를 최소화하고 종양조직에 정확한 선량을 조사하는 것을 목표로 하고 있다. 최근에는 침단방사선치료기술의 발전을 통해 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)와 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation

Therapy, IMRT)가 임상적으로 널리 사용되고 있으며, 효과적으로 단기간에 고선량의 전달이 가능한 정위체부방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT) 또한 임상에 적용이 늘어나고 있다. 이러한 SBRT의 경우에 대부분은 선형가속기(LINAC)을 이용한 치료가 진행되고 있지만, 실시간으로 종양 추적이 가능한 사이버나이프(Accuray Inc., Sunnyvale, CA)도 널리 이용되고 있다. 사이버나이프는 6 MV의 X선과 천장에는 iso-center로부터 좌, 우 45° 방향의 X선 tube가 장착되어 있고, 바닥에는 Imaging Detectors가 있어서 선형가속기와 달리 치료중에 환자의 움직임을 실시간으로 추적할 수 있다는 장점을

책임저자: 이건호, 서울아산병원
서울 송파구 올림픽로 43길 88
Tel: 02)3010-4411
E-mail: leegh1988@naver.com

가지고 있다.⁽¹⁾

사이버나이프는 6-Dimensional(6D) Skull Tracking, Xsight Spine Tracking, Fiducial Tracking, Xsight Lung Tracking의 다양한 실시간 Tracking System을 이용하여 방사선치료에 이용되고 있고, 환자의 움직임을 위치인식시스템(Target Locating System, TLS)을 이용하여 병변의 위치를 정확하게 인식하고 보정(Correction)함으로써 환자의 셋업 오차 뿐만 아니라 기준점의 위치변화 오차까지 확인이 가능한 치료기다.⁽²⁾

현재 뇌와 인접한 병변에 경우에 사용하는 6-D Skull Tracking은 33쌍의 Digital Reconstructed Radiography(DRR)과 Live Image의 뇌뼈구조(Brain Bony Anatomy)를 비교하여 6D Couch값을 계산하고 고정용구인 마스크를 이용하여 환자의 움직임을 제한하여 치료를 진행하고 있다.⁽³⁾ 척추의 경우 예전의 사이버나이프는 병변 주위의 Fiducial을 삽입하고 치료를 진행하였지만, 지금은 Fiducial 없이 Xsight Spine Tracking을 통해 81개의 DRR과 live Image의 동일한 포인트를 연결하여 Mesh라는 방법을 이용하여 치료를 진행하는 경우가 점차 늘어나고 있고, 점차 Fiducial-Free case의 적용이 늘어남에 그에 따른 치료의 정확도에 관심 또한 높아지고 있다.⁽⁴⁻⁶⁾

사이버나이프 제작사인 Accuray에서 권고하는 Translation Correction Limits 값은 X(Superior-Inferior), Y(Right-Left, RL), Z(Anterior-Posterior, AP) 방향으로 ± 10 mm, Rotation Correction Limits 값은 Roll(Right-Left), Pitch(Head Up-Down), Yaw(Cw-Ccw) 방향으로 각각 $\pm 1^\circ$, 1° , 3° 이다. 또한 치료 시 TLS를 이용하여 환

자의 움직임에 대한 정보를 길이(mm)와 각도($^\circ$)로 나타내고, 그 표시된 값으로 Manipulator에 의해 보정되어 치료가 진행된다.^(7,8)

본 논문에서는 사이버나이프의 다양한 영상유도 방법 중 제1, 2경추에 대해 SBRT를 진행시에 Xsight Spine Tracking과 6-D Skull Tracking의 각각 치료 전 영상유도를 진행하여 6D Couch값을 측정하고, 그 결과값을 바탕으로 6-D Skull Tracking의 유용성을 평가하고자 한다.⁽⁹⁾

대상 및 방법

2017년 1월부터 9월까지 본원에서 사이버나이프를 이용하여 SBRT를 시행한 제1, 2경추에 뼈전이 병변 환자 9명을 대상으로 하여 6-D Skull Tracking과 Xsight Spine Tracking의 치료계획을 수립하고, 동일한 셋업 상황에서 각각의 영상유도 절차를 확인하고 6D Couch값을 측정하여 비교·분석 하였다.

치료계획을 수립하기 위해서 전산화단층촬영장치(Lightspeed VCT 64, General Electric Co. Waukesha, WI, USA)를 이용하여 조영제 100 cc를 초당 1.5 cc의 속도로 주입하고 지연시간(Scan Delay)은 300초로 1.25 mm Slice-Thickness로 영상을 획득하였다. 전산화치료 계획시스템(Multiplan system Version 4.6, Accuray, US)을 이용하여 환자마다 각각 6-D Skull Tracking과 제1, 2경추에 Xsight Spine Tracking 치료계획을 수립하

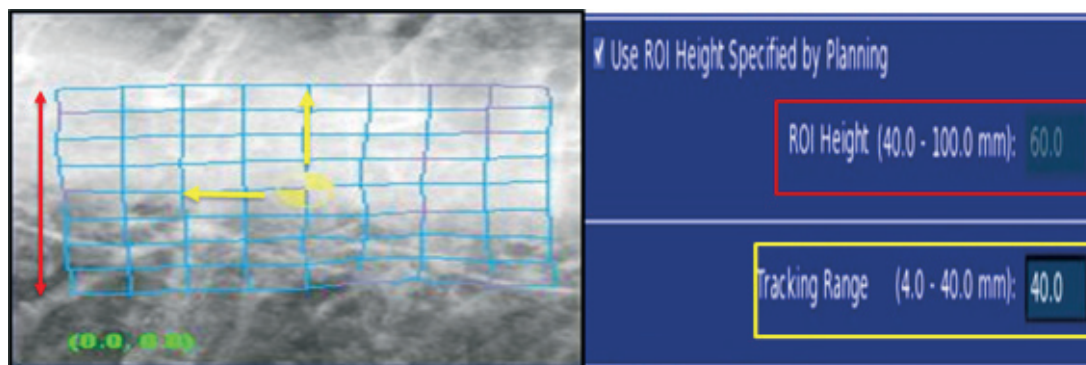


Fig. 1. Tracking range of the mesh and ROI Height adjust the range of measurements

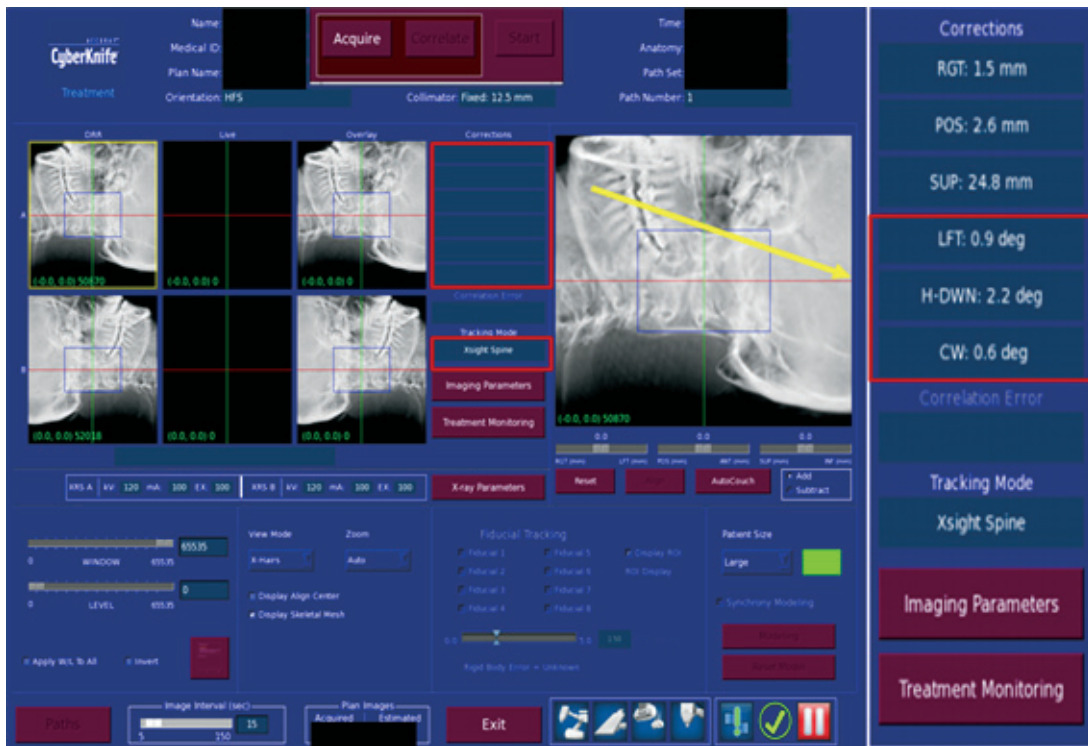


Fig. 2. Measure the couch value by Xsight spine tracking to C1, C2

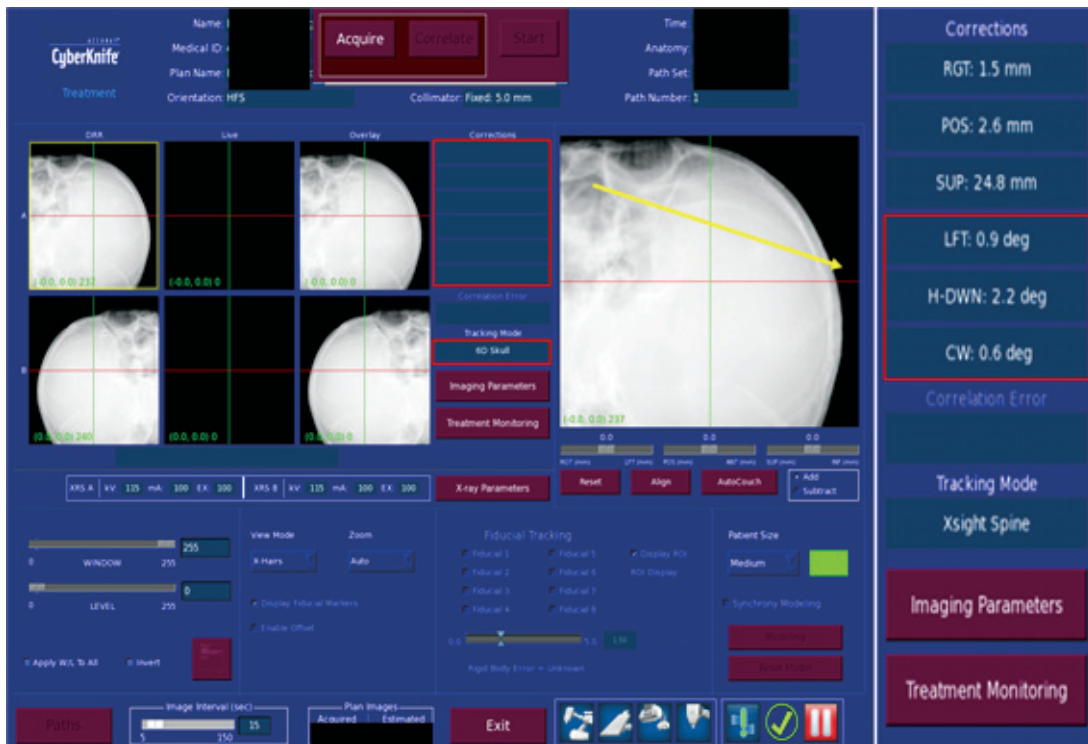


Fig. 3. Measure the couch value by Xsight spine tracking to 6D skull tracking

였다.

본원에서 사이버나이프를 이용하여 치료 시 기준이 되는 Y, Z, X는 ± 1 mm 그리고 Roll, Pitch, Yaw는 각각 $\pm 1.0^\circ$, 1.0° , 3.0° 도 이내로 측정되는지 확인하고자 하였다. 측정하는 과정에서 사용자에게 의한 1차 영상유도를 실시한 후 각각의 치료계획에서 측정을 진행하였으며, 6D Skull Tracking의 모든 옵션은 Default Value로 측정하였고, Xsight Spine Tracking에서 적용하는 옵션 중 측정값을 확인하기 위해 False Node Threshold, Target dxAB or drAB는 측정값 확인을 위해 조정이 필요한 경우도 있었으며, 병변의 위치에 따라서 치료진행을 위해 조정이 가능한 Mesh의 Resion Of Interest(ROI) Height와 Tracking Range는 제1, 2경추 주변의 6D Couch값을 측정하는데 불필요한 요소를 최소화 하기 위해 각각 40 mm와 20 mm로 측정을 진행하였다(Fig. 1).

먼저 제1경추에서 동일한 환자를 대상으로 Xsight Spine Tracking으로 Y, Z, X과 Roll, Pitch, Yaw의 6D Couch값을 각각 30초 간격으로 3회 측정하고 평균값을 기록하였다(Fig. 2).

그 다음 동일한 셋업에서 6-D Skull Tracking으로 Alignment Center를 이동하여 같은 방법으로 6D Couch값을 측정하였다(Fig. 3).

제2경추에서도 제1경추와 동일한 방법으로 Xsight Spine Tracking으로 Y, Z, X과 Roll, Pitch, Yaw의 6D Couch값을 각각 30초 간격으로 3회 측정하고 평균값을 기록하였다. 그 다음 동일한 셋업에서 6-D Skull Tracking으로 Alignment Center를 이동하여 같은 방법으로 6D Couch값을 측정하였다.

결 과

제1경추에서 동일한 환자를 대상으로 Xsight Spine Tracking으로 영상유도 이후 동일한 셋업에서 Alignment Center만 6-D Skull Tracking으로 이동하여 6D Couch값을 각각 30초 간격으로 3회 측정한 결과, Y, Z, X와 Roll, Pitch, Yaw는 각각 평균 ± 1 mm와 $\pm 1.0^\circ$, 1.0° , 3.0° 이하의 결과값을 얻을 수 있었다(Fig. 4).

또한 제1경추에서 Xsight Spine Tracking으로 영상유도시에 최대 차이 값은 Y, Z, X는 -0.9 mm, -0.9 mm, $+0.7$ mm였고 Roll, Pitch, Yaw의 최대 차이 값은 -1.0° , $+1.0^\circ$, -1.2° 였다. 그리고 6-D Skull Tracking으로 영상유도시에 최대 차이 값은 Y, Z, X는 $+0.7$ mm, -0.7 mm, $+0.9$ mm였고 Roll, Pitch, Yaw의 최대 차이 값은 -0.5° ,

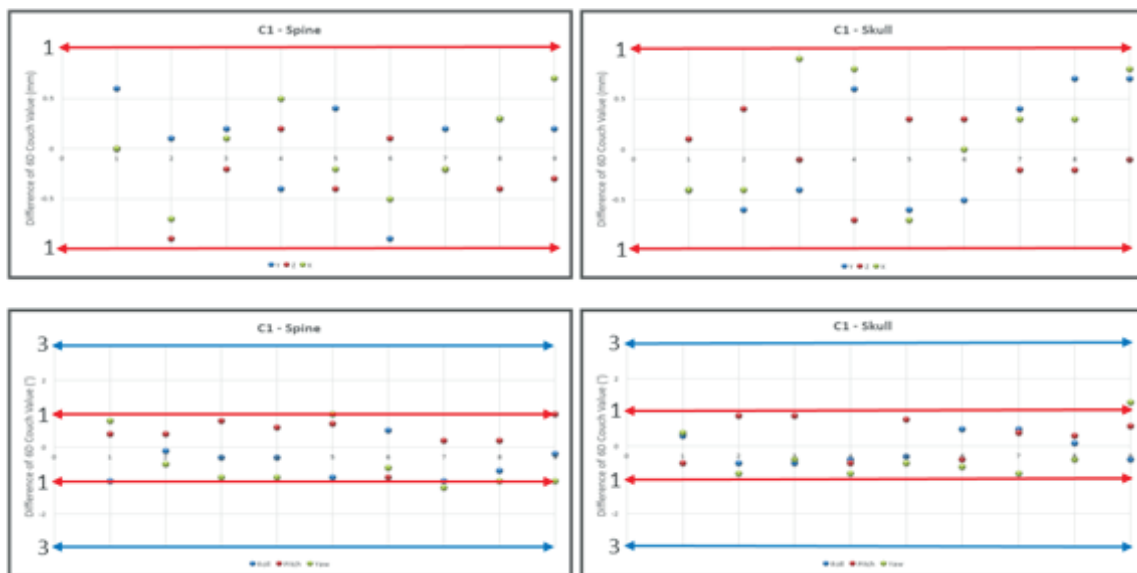


Fig. 4. Difference of 6D couch values at the C1 in Xsight spine tracking and 6-D Skull Tracking

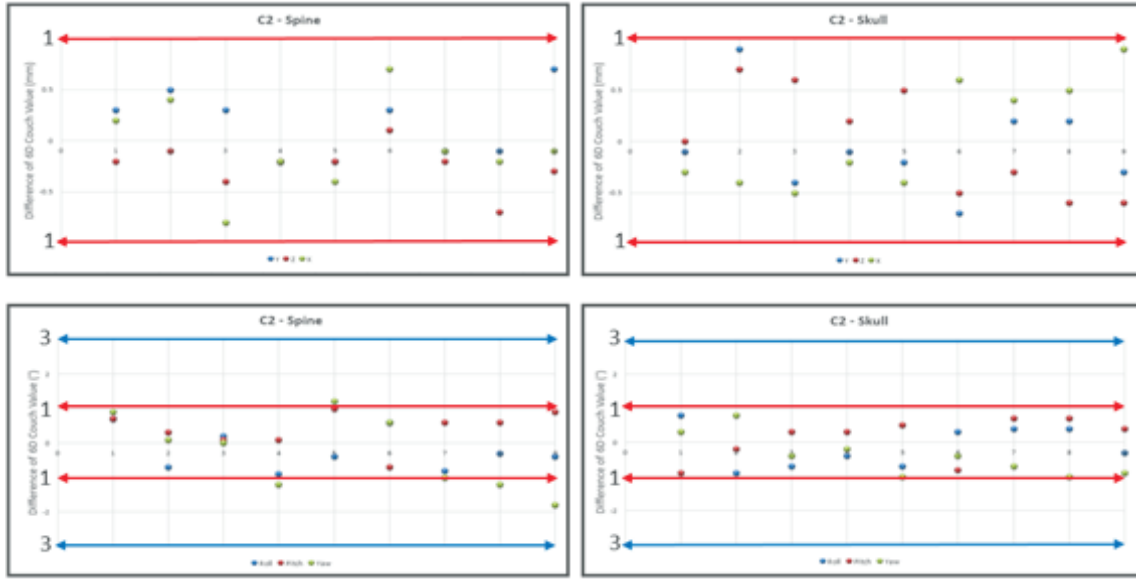


Fig. 5. Difference of 6D couch values at the C2 in Xsight spine tracking and 6-D Skull Tracking

Table 1. Difference of Maximum value in Xsight Spine Tracking and 6-D Skull Tracking in C1 (mm, °)

구분		Maximum value					
		Y	Z	X	Roll	Pitch	Yaw
C1	XST	-0,9	-0,9	+0,7	-1,0	+1,0	-1,2
	6DST	+0,7	-0,7	+0,9	+0,5	+0,9	-0,8

Table 2. Difference of Maximum value in Xsight Spine Tracking and 6-D Skull Tracking in C2 (mm, °)

구분		Maximum value					
		Y	Z	X	Roll	Pitch	Yaw
C2	XST	+0,7	-0,7	-0,8	-0,9	+1,0	-1,8
	6DST	+0,9	+0,7	+0,9	-0,9	-0,9	-1,0

+0,9°, -0,8°였다(Table 1).

제2경추에서 동일한 환자를 대상으로 Xsight Spine Tracking으로 영상유도 이후 동일한 셋업에서 Alignment Center만 6-D Skull Tracking으로 이동하여 6D Couch값을 각각 30초 간격으로 3회 측정된 결과, Y, Z, X와 Roll, Pitch, Yaw는 각각 평균 ±1 mm와 ±1,0°, 1,0°, 3,0° 이하의 결과값을 얻을 수 있었다(Fig. 5).

또한 제2경추에서 Xsight Spine Tracking으로 영상유도시에 최대 차이 값은 Y, Z, X는 +0,7 mm, -0,7 mm,

-0,8 mm였고 Roll, Pitch, Yaw의 최대 차이 값은 -0,9°, +1,0°, -1,8°였다. 그리고 6-D Skull Tracking으로 영상유도시에 최대 차이 값은 Y, Z, X는 +0,9 mm, +0,7 mm, +0,9 mm였고 Roll, Pitch, Yaw의 최대 차이 값은 -0,9°, -0,9°, -1,0°였다(Table 2).

결론

사이버나이프를 이용하여 대상환자 9명의 제1, 2경추에 대해서 Xsight Spine Tracking과 6-D Skull Tracking의 6D Couch값을 측정된 결과, Y, Z, X와 Roll, Pitch, Yaw는 각각 평균 ±1 mm와 ±1,0°, 1,0°, 3,0° 이하의 결과값으로 치료가 가능한 허용범위 안에 들어오는 것을 두 가지 모두 확인할 수 있었다.

또한 측정을 하기 위한 영상유도 절차에서 Xsight Spine Tracking은 1차 영상유도 이후 Imaging Parameters의 조절을 통해 측정값을 얻어야 했던 반면에 6-D Skull Tracking의 경우 모든 옵션은 Default 값으로 측정이 가능하였다.

따라서 제1, 2경추에 대해서 Xsight Spine Tracking과 함께 6-D Skull Tracking 또한 영상유도 절차의 간소화

및 연속적인 치료가 가능하고 이를 통해 총 치료시간의 감소의 장점을 바탕으로 하여 치료에 유용하게 사용될 것이라고 사료됩니다.

참고문헌

1. Simon S, Bin S, Jiade J, at al :Stereotactic Body Radiation Therapy. 1th ed, Berlin: Springer, 2012;10-47
2. Young Joon Jeong, Kim Sang Hyun : Useful evaluation of 3D target location correction by using Xsight spine tracking system in CyberKnife. The Journal of Digital Convergence 2015 Jan; 13(1): 331-339
3. Young Joon Jeong, Jae Hong Jung, at al: Evaluation on the Accuracy of Targeting Error Correction Through the Application of Target Locating System in Robotic CyberKnife. The Journal of Korean Society for Radiation Therapy. 2009;2(1):1-7
4. Kataria T, Narang K, Bisht SS, at al, : Analysis of intrafraction motion in CyberKnife-based stereotaxy using mask based immobilization and 6D-skull tracking(†). J Radiosurg SBRT. 2016;4(3):203-212
5. Ho AK, Fu D, Cotrutz C, Hancock SL, at al. : A study of the accuracy of cyberknife spinal radiosurgery using skeletal structure tracking. Neurosurgery. 2007 Feb;60(2Suppl 1):ONS147-56
6. Fürweger C, Drexler C, Kufeld M, at al. : Patient motion and targeting accuracy in robotic spinal radiosurgery: 260 single-fraction fiducial-free cases. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2010 Nov 1;78(3):937-45
7. Chang SD, Main W, Martin DP, Gibbs IC, at al. : An analysis of the accuracy of the CyberKnife: a robotic frameless stereotactic radiosurgical system. Neurosurgery. 2003 Jan;52(1):140-6; discussion 146-7
8. Accuray Inc. Treatment Delivery In. CyberKnife Treatment Delivery Manual, 2008;50-51
9. Kilby W(1), Dooley JR, Kuduvalli G, at al : Technol Cancer Res Treat. 2010 Oct;9(5):433-52

The variability of 6-D Skull Tracking(6DST) in Cyberknife for Bone metastasis patients

Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, Seoul, Korea

Lee Geon Ho, Bae Sun Myeong, Song Heung Kwon, Baek Geum Mun

Purpose : The purpose of this study is to evaluate the usefulness of 6 Dimensional Skull Tracking(6DST) in Cyberknife Stereotactic Body Radiation Therapy(SBRT) for the first and second cervical vertebrae(C1 and C2) metastasis.

Method and material : The Computed Tomography (Lightspeed VCT 64, General Electric Co. Waukesha, WI, USA) was used to acquire the CT images of the 9 patients with cervical vertebrae(C1 and C2) metastasis. Treatment plans for Xsight spine tracking and 6 Dimensional skull tracking were established with planning system (Multiplan system Version 4.6, Accuray, US). The results of XST and 6DST for each patient were analyzed with Microsoft Excel 2010.

Result : The Maximum offsets of XST for C1 were 0.9 mm in Y(supero-inferior), 0.9 mm in Z(antero-posterior), 0.7 mm in X(left-right) direction, and rotations were and 1.0 degrees roll, 1.0 degrees pitch and 1.2 degrees yaw. The Maximum offsets of 6DST for C1 were 0.7 mm, 0.7 mm, 0.9 mm and 1.0°, 1.0°, 1.2° for Y, Z, X and Roll, Pitch, Yaw. The Maximum offsets of XST and 6DST for C2 were 0.7 mm, 0.7 mm, 0.8 mm and 0.9°, 1.0°, 1.8°, and 0.9 mm, 0.7 mm, 0.9 mm and 0.9°, 0.9°, 1.0° for Y, Z, X and Roll, Pitch, Yaw, respectively.

Conclusion : XST and 6DST showed identical results for translations and rotations within the tolerance. It is possible to simplify the treatment time and procedure by using the 6DST. Therefore, 6DST is very useful methode with XST among the various tracking methods in Cyberknife for the patients with C1, C2 vertebral metastasis.

▶**Keyword :** SBRT, Cyberknife, Cervical spine, Tumor Tracking System