

# 정위적체부방사선치료시 ExacTrac과 CBCT를 이용한 Combine IGRT의 유용성 평가

울산대학교병원 방사선종양학과

안민우·강효석·최병준·박상준·정다이·이건호·이두상·전명수

**목 적 :** 본 연구에서는 정위적체부방사선치료시 ExacTrac과 CBCT를 단계적으로 적용한 Combine IGRT를 사용하여 Set-up 오차를 비교 및 분석하여 Combine IGRT의 유용성을 평가하고자 한다.

**대상 및 방법 :** 2014년 5월에서 2017년 11월까지 본원에 내원하여 trueBEAM Stx(Varian medical System, USA)에서 정위적체부방사선치료를 받은 환자 중 부위별로 뇌(Brain) 3명, 척추(Spine) 9명, 골반(Pelvis) 3명으로 분류하였다. 치료전 ExacTrac을 사용하여 Lateral(Lat), Longitudinal(Lng), Vertical(Vrt) 방향과 Roll, Pitch, Yaw 방향으로 Set-up 오차를 보정하였고, ExacTrac 이동 값을 적용 후 CBCT를 추가적으로 수행하여 Lat, Lng, Vrt, Rotation(Rtn) 방향으로 보정하였다.

**결 과 :** ExacTrac 사용시 뇌 부위의 오차는 Lat  $0.18\pm 0.25$  cm, Lng  $0.23\pm 0.04$  cm, Vrt  $0.30\pm 0.36$  cm, Roll  $0.36\pm 0.21^\circ$ , Pitch  $1.72\pm 0.62^\circ$ , Yaw  $1.80\pm 1.21^\circ$ , 척추 부위는 Lat  $0.21\pm 0.24$  cm, Lng  $0.27\pm 0.36$  cm, Vrt  $0.26\pm 0.42$  cm, Roll  $1.01\pm 1.17^\circ$ , Pitch  $0.66\pm 0.45^\circ$ , Yaw  $0.71\pm 0.58^\circ$ , 골반 부위는 Lat  $0.20\pm 0.16$  cm, Lng  $0.24\pm 0.29$  cm, Vrt  $0.28\pm 0.29$  cm, Roll  $0.83\pm 0.21^\circ$ , Pitch  $0.57\pm 0.45^\circ$ , Yaw  $0.52\pm 0.27^\circ$ 로 나타났다. Couch 이동 후 CBCT를 하였을 때, 뇌 부위는 Lat  $0.06\pm 0.05$  cm, Lng  $0.07\pm 0.06$  cm, Vrt  $0.00\pm 0.00$  cm, Rtn  $0.0\pm 0.0^\circ$ , 척추 부위는 Lat  $0.06\pm 0.04$  cm, Lng  $0.16\pm 0.30$  cm, Vrt  $0.08\pm 0.08$  cm, Rtn  $0.00\pm 0.00^\circ$ , 골반 부위는 Lat  $0.06\pm 0.07$  cm, Lng  $0.04\pm 0.05$  cm, Vrt  $0.06\pm 0.04$  cm, Rtn  $0.0\pm 0.0^\circ$  오차가 발생하였다.

**결 론 :** 정위적체부방사선치료시 ExacTrac에 추가적으로 CBCT를 사용한 Combine IGRT의 경우는 ExacTrac만 사용한 경우보다 환자의 Set-up 오차를 줄일 수 있게 나타났다. 그러나 Combine IGRT를 적용함으로써 환자 Set-up 확인시간, 영상획득을 위한 체내 흡수선량이 증가한다. 그러므로 환자 상황에 따라 Combine IGRT를 사용하여 환자의 Set-up 오차를 적게 함으로써 방사선치료 효과비를 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어 :** ExacTrac, CBCT, Combine IGRT

## 서 론

최근 방사선치료 분야의 지속적인 발전이 이루어지면서 치료부위의 정확한 선량조사로 인해 정상조직의 보존이 가능해짐에 따라 정확하고 정밀한 치료에 대한 관심이 높아

졌다. 과거 뇌종양, 뇌동정맥기형 등 뇌질환을 대상으로 1회에 다량의 방사선을 조사하여 시행되었던 정위적방사선 수술(Stereotactic Radiosurgery, SRS)은 체부로 점차 적용범위가 확대되어 현재의 정위적체부방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)로 폐, 간, 척추 등의 부위의 종양치료를 활발히 사용되어지고 있다.<sup>(1,2)</sup>

정위적체부방사선치료는 체부에 적용된 방사선수술로써 2~5회의 짧은 치료기간에 다량의 방사선이 종양에 조사되는 치료기술이며 수술로 절제가 힘든 초기단계의 두

책임저자: 안민우, 울산대학교병원 방사선종양학과  
울산광역시 동구 방어진순환도로 877  
Tel: 052)250-8714  
E-mail: magic1605@naver.com

경부 및 체부의 암 치료에서 높은 치료 효과가 입증되고 있다.<sup>(3,4,5)</sup>

다량의 방사선이 조사되는 만큼 종양 제어에 탁월하지만 정확하고 정밀한 치료가 수반되지 않는다면 치료 시마다 발생 가능한 작은 오차에도 정상조직의 부작용을 초래할 수도 있다. 그렇기 때문에 정위적체부방사선치료시 영상유도치료(Imaged Guided Radiotherapy, IGRT)를 적용하여 정확, 정밀한 방사선치료가 이루어질 수 있도록 해야 한다. 영상유도치료는 환자의 자세를 실시간으로 촬영하여 디지털재구성영상(Digitally Reconstructed Radiographs, DRR)과의 비교를 통해 치료시 발생하는 Set-up 오차를 보정하는 치료기법이며 선형가속기에 부착된 EPID(Electronic Portal Imaging Device), OBI(On Board Imager, Varian Medical Systems, USA) 등의 영상확인장치를 사용하여 전후, 좌우 영상 즉 2차원적 영상으로 Set-up 오차를 보정하는 방법과 Cone-Beam Computed Tomography(CBCT)를 사용하여 360° 촬영을 통해 얻어진 3차원 체적정보가 포함된 단층영상을 사용하여 오차를 보정하는 방법이 있다.<sup>(6,7)</sup>

하지만 앞서 언급한 영상확인장치는 Couch의 Lateral(Lat), Longitudinal(Lng), Vertical(Vrt)의 직선방향으로의 Couch 이동만 가능하여 환자 몸의 회전으로 인해 발생하는 오차의 보정은 제한적일 수밖에 없다.

반면에 Brain Lab사의 ExacTrac 6D Couch system은 2개의 X-ray tube, Detector, 6D Couch로 구성되어 있으며 Reference Accessory에 부착된 Maker를 적외선 카메라로 인식하여 Couch의 직선방향의 이동뿐만 아니라 Roll, Pitch, Yaw 회전방향으로의 위치이동이 가능하여 회전방향의 오차를 보정이 가능한 장점이 있지만 3차원 정보를 고려한 Set-up 오차가 불가능하다는 단점을 가지고 있다.<sup>(8)</sup>

정위적체부방사선치료시 보편적으로 단일 영상확인장치만을 이용한 영상유도방사선치료를 적용하고 있어 몸의 회전 또는 체적정보를 고려한 Set-up 오차의 확인이 어렵다. ExacTrac 또는 CBCT 확인 이후에도 3차원방향과 회전방향으로의 오차가 존재할 것이며 추가적인 영상확인장치 이용한 영상유도치료를 시행하여 Set-up 오차를 보정한다면 더욱 정확, 정밀한 치료가 가능할 것으로 생각되어

진다. 이에 본 연구에서는 두 영상장치를 결합한 Combine IGRT를 사용하여 부위별 Set-up 오차를 확인하고 측정된 자료를 비교 및 제시하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

본원에서 2014년 5월에서 2017년 11월까지 trueBEAM (Varian medical System, USA)에서 정위적체부방사선 치료를 받은 환자 15명을 대상으로 Brain 3명, Spine 9명, Pelvis 3명으로 분류하였다.

### 2. Brain Lab ExacTrac 6D Couch를 활용한 위치보정

환자의 치료자세 Set-up 후 Brain Lab ExacTrac 6D Couch를 사용하여 환자의 체부쪽에 설치한 Reference Accessory를 사용하여 치료실 내부에 위치한 2개의 X-ray Tube와 Detector를 통해 Oblique 방향에서 X-ray 영상을 획득하였다. 획득된 영상과 디지털재구성영상과의 정합을 통하여 직선방향(Lat, Lng, Vrt)과 회전방향(Roll, Pitch, Yaw)으로 Set-up 오차를 보정하였다. 단, 1회 이상 치료한 환자는 Set-up 오차 보정값의 평균으로 평가하였다(Fig. 1).

### 3. ConeBeam CT를 활용한 위치보정

ExacTrac Set-up 오차 보정 적용 후 이어서 kV 발생장치와 Detector로 구성된 OBI를 사용하여 CBCT 촬영을 실시하였다. Coronal, Sagittal, Transversal 방향으로 획득된 3차원 정보를 포함한 단층영상을 DRR 영상과의 정합을 통하여 Lat, Lng, Vrt, Rotation(Rtn) 방향으로 Set-up 오차 보정을 실시하였다. 단, 1회 이상 치료한 환자는 Set-up 오차 보정값의 평균으로 평가하였다(Fig. 2).

### 4. Set-up 오차값 분석

ExacTrac의 Review/Replay를 사용하여 6D Couch의 위치 이동이 적용된 Lat, Lng, Vrt, Roll, Pitch, Yaw 방향으로 Set-up 오차 보정값을 산출하였다. 또한 Combine IGRT 적용시 ARIA(Varian medical system, USA,

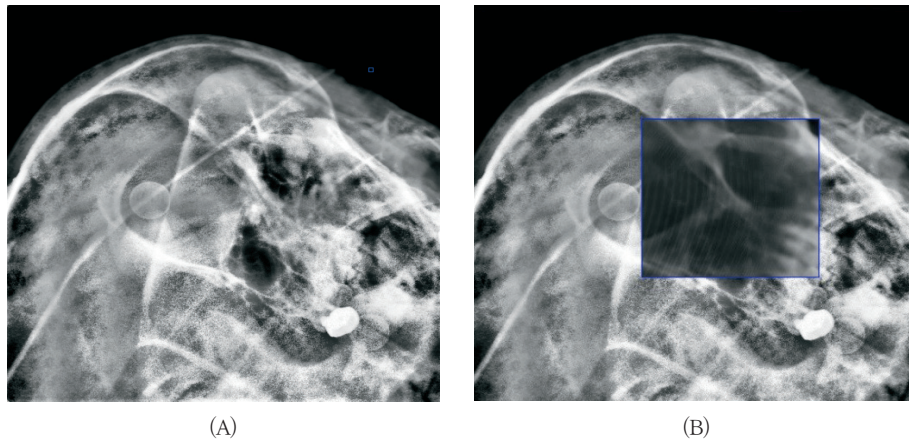


Fig. 1. Image registration using BrainLAB ExacTrac  
 (A) ExacTrac Image  
 (B) Image registration

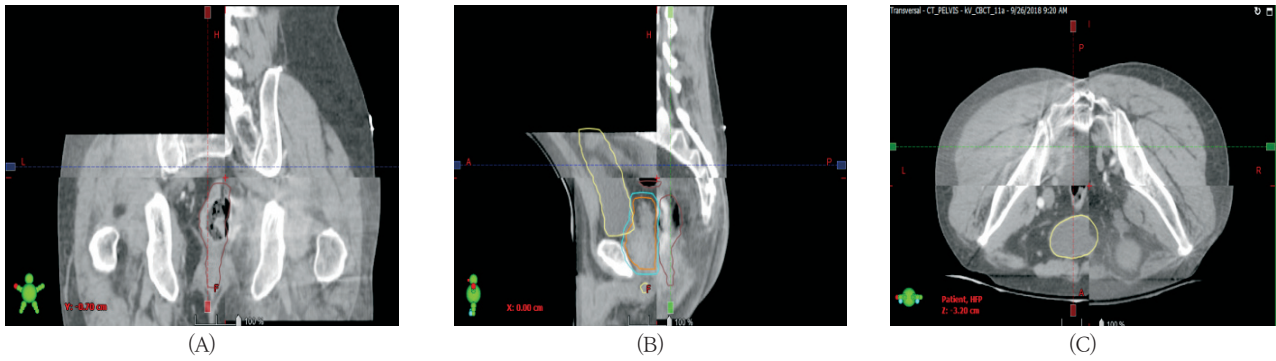


Fig. 2. Image registration cone-beam computed tomography  
 (A) Frontal Image registration  
 (B) Sagittal Image registration  
 (C) Transversal Image registration

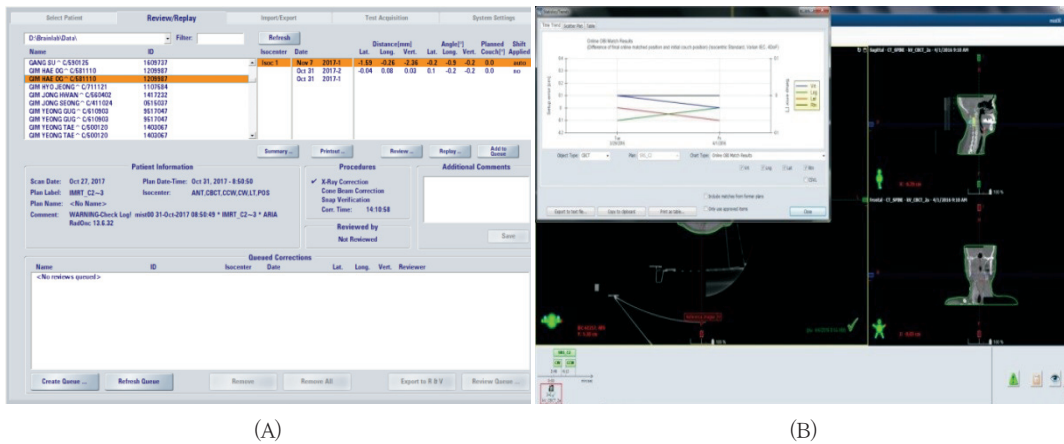


Fig. 3. ExacTrac Review / Replay and Aria offline review  
 (A) Review / Replay  
 (B) Offline review

13.6Ver)의 Offline Review 기능을 사용하여 Lat, Lng, Vrt, Rtn 방향으로의 CBCT 촬영 후 발생한 Set-up 오차 보정값을 산출하였다(Fig. 3).

### 5. 전산화치료계획에서의 비교

단일적으로 ExacTrac만 사용하였을 경우와 Combine IGRT를 적용한 Set-up 오차 보정의 결과를 전산화치료계획상에서 비교하여 위치이동에 따른 선량분포, 선량-체적 히스토그램(Dose-volume-histogram, DVH)을 분석, 평가하였다.

## 결 과

Brain Lab ExacTrac 6D Couch를 단일 적용한 위치 보정과 CBCT와 통합적으로 적용시킨 Combine IGRT의 Set-up 오차 보정값을 각 부위별로 획득하였다.

ExacTrac 사용시 뇌 부위의 Set-up 오차 보정값은 Lat 에서 평균은 Lat  $0.18 \pm 0.25$  cm, Lng  $0.23 \pm 0.04$  cm, Vrt  $0.30 \pm 0.36$  cm, Roll  $0.36 \pm 0.21^\circ$ , Pitch  $1.72 \pm 0.62^\circ$ 이고 Table 1로 나타냈으며, Yaw  $1.80 \pm 1.21^\circ$ , 척추 부위는 Lat  $0.21 \pm 0.24$  cm, Lng  $0.27 \pm 0.36$  cm, Vrt  $0.26 \pm 0.42$  cm, Roll  $1.01 \pm 1.17^\circ$ , Pitch  $0.66 \pm 0.45^\circ$ , Yaw  $0.71 \pm 0.58^\circ$ 이고 Table 2로 나타냈으며, 골반 부위는 Lat  $0.20 \pm 0.16$  cm, Lng  $0.24 \pm 0.29$  cm, Vrt  $0.28 \pm 0.29$  cm, Roll  $0.83 \pm 0.21^\circ$ , Pitch  $0.57 \pm 0.45^\circ$ , Yaw  $0.52 \pm 0.27^\circ$ 이었으며 Table 3로 나타냈다. 6D Couch 이동 후 CBCT를 적용 즉 Combine IGRT를 하였을 때, 뇌 부위는 Lat  $0.06 \pm 0.05$  cm, Lng  $0.07 \pm 0.06$  cm, Vrt  $0.00 \pm 0.00$  cm, Rtn  $0.0 \pm 0.0^\circ$ 이고 Table 4로 나타냈으며, 척추 부위는 Lat  $0.06 \pm 0.04$  cm, Lng  $0.16 \pm 0.30$  cm, Vrt  $0.08 \pm 0.08$  cm, Rtn  $0.00 \pm 0.00^\circ$  이고 Table 5로 나타냈으며, 골반 부위는 Lat  $0.06 \pm 0.07$  cm, Lng  $0.04 \pm 0.05$  cm, Vrt  $0.06 \pm 0.04$  cm, Rtn  $0.0 \pm 0.0^\circ$  이었으며 Table 6으로 나타내었다.

**Table 1.** ExacTrac Couch Shift(Brain)

Brain	Lat(cm)	Lng(cm)	Vrt(cm)	Roll(°)	Pitch(°)	Yaw(°)
1	0.04	0.21	0.11	0.2	2.3	1.1
2	0.47	0.28	0.06	0.6	1.8	3.2
3	0.04	0.21	0.71	0.27	1.07	1.10
Average	0.18	0.23	0.30	0.36	1.72	1.80
SD	0.25	0.04	0.36	0.21	0.62	1.21

**Table 2.** ExacTrac Couch Shift(Spine)

Spine	Lat(cm)	Lng(cm)	Vrt(cm)	Roll(°)	Pitch(°)	Yaw(°)
1	0.09	0.01	0.11	0.70	1.10	1.70
2	0.39	0.08	0.09	0.87	0.60	0.73
3	0.11	0.15	0.26	0.40	1.50	1.20
4	0.12	0.25	0.03	1.30	0.90	0.70
5	0.05	0.11	0.08	0.50	0.20	0.20
6	0.22	0.17	0.09	0.10	0.63	0.30
7	0.79	0.34	1.29	4.00	0.30	1.30
8	0.12	0.10	0.10	0.77	0.63	0.17
9	0.02	1.20	0.48	0.50	0.07	0.10
Average	0.21	0.27	0.28	1.01	0.66	0.71
SD	0.24	0.36	0.40	1.17	0.45	0.58

**Table 3.** ExacTrac Couch Shift(Pelvis)

Pelvis	Lat(cm)	Lng(cm)	Vrt(cm)	Roll(°)	Pitch(°)	Yaw(°)
1	0,04	0,08	0,11	1,03	1,08	0,83
2	0,37	0,58	0,62	0,87	0,43	0,33
3	0,19	0,07	0,10	0,60	0,20	0,40
Average	0,20	0,24	0,28	0,83	0,57	0,52
SD	0,16	0,29	0,29	0,21	0,45	0,27

**Table 4.** CBCT Couch Shift(Brain)

Brain	Lat(cm)	Lng(cm)	Vrt(cm)	Rtn(°)
1	0,10	0,10	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,07	0,10	0,00	0,00
Average	0,06	0,07	0,00	0,00
SD	0,05	0,06	0,00	0,00

**Table 5.** CBCT Couch Shift(Spine)

Spine	Lat(cm)	Lng(cm)	Vrt(cm)	Rtn(°)
1	0,00	0,10	0,10	0,00
2	0,10	0,00	0,00	0,00
3	0,10	0,00	0,10	0,00
4	0,10	0,10	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,10	0,00
6	0,07	0,00	0,03	0,00
7	0,04	0,23	0,15	0,00
8	0,00	0,07	0,03	0,00
9	0,07	0,93	0,23	0,00
Average	0,06	0,16	0,08	0,00
SD	0,04	0,30	0,08	0,00

**Table 6.** CBCT Couch Shift(Pelvis)

Pelvis	Lat(cm)	Lng(cm)	Vrt(cm)	Rtn(°)
1	0,05	0,10	0,03	0,00
2	0,13	0,03	0,07	0,00
3	0,00	0,00	0,10	0,00
Average	0,06	0,04	0,06	0,00
SD	0,07	0,05	0,04	0,00



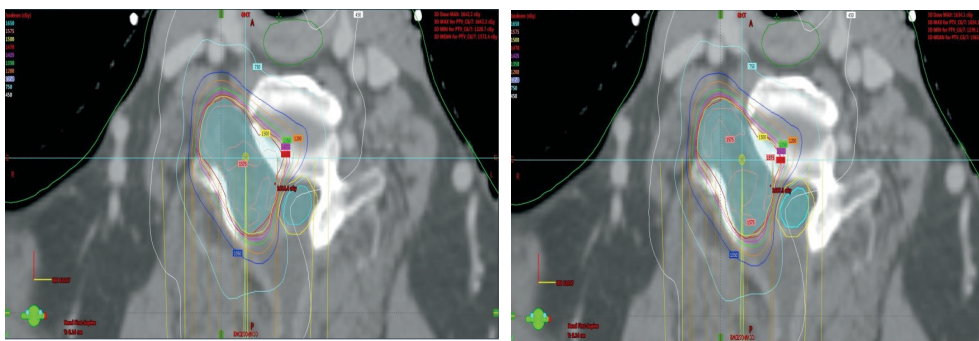


Fig. 4. Isodose curve in spine radiotherapy plan

Table 7. Comparison Plan vs Re-Plan

(Unit : cGy)

Spine	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Plan	669.1	1021.0	702.9	1160.1	765.0	1279.4	777.8	1075.2	875.0
Re-Plan	758.5	1101.9	868.0	1280.7	921.2	1413.8	949.1	1237.4	1106.0
Difference	89.4	80.91	165.1	120.6	156.2	134.4	171.3	162.2	231.0
Average	142								

Combine IGRT 적용시 각 부위에서 Lat에서는 Couch 이동 값의 변화가 큰 차이를 보이지 않았다. Lng에서는 척추에서 이동값의 변화가 가장 크게 나타났으며 다음으로 뇌, 골반 순이었다. Vrt에서도 척추에서 가장 변화가 컸으며 골반, 뇌 순으로 작은 변화 값을 보였다. Rtn은 각 부위에서 변화가 나타나지 않았다.

Combine IGRT 미적용시 전산화 치료계획상에서 나타나는 선량분포변화를 확인하기 위해 척추부위를 대상으로 기존의 치료계획과, CBCT 보정을 하지 않았을 경우의 치료계획을 Fig. 4와 같이 비교해 본 결과 PTV에 인접한 Spinal cord의 최대선량은 최고 231 cGy, 평균 142 cGy의 차이를 보였다(Table 7).

### 고안 및 결론

정위적체부방사선치료전 각 부위에서 Combine IGRT를 적용하였을 때 직선방향으로의 Set-up 오차가 추가적으로 발생함을 알 수 있었다. 오차발생 원인은 ExacTrac 확인 후의 CBCT를 통해 얻어진 영상에서 해부학적 구조물의 위치와 체내조직 정보의 확인이 가능하여 치료부위

의 정확한 위치뿐 아니라 주변 정상조직을 고려한 보정이 가능하기 때문에 발생한다고 생각되어진다. 부위별로 비교했을 때는 척추, 골반, 뇌 순으로 오차발생이 크게 나타났으며 Lat, Lng, Vrt 직선방향으로의 변화를 보였지만 Brain의 Vrt에서는 Set-up 오차가 발생하지 않았다. 그 이유로서 부위별로 다른 치료자세 고정용구와 상대적으로 환자의 호흡, 작은 움직임에 영향을 받는 흉부, 복부, 골반에 비해 Brain 치료시 Aquaplast를 사용하여 두부를 밀착 고정이가 가능하기 때문에 발생하는 차이라고 생각된다. ExacTrac 또는 CBCT를 단일로 사용하여 IGRT를 시행했을 경우 각각 몸의 회전방향과, 3차원체적을 고려한 위치이동이 불가능하다. 하지만 Combine IGRT를 시행함으로써 환자의 Set-up 확인시간, 영상획득을 위한 체내흡수선량의 증가라는 요인이 존재하지만 정위적체부방사선치료와 같이 체내 고선량이 조사되며 정확한 치료의 중요성이 높은 치료시 Combine IGRT를 사용한다면 보편적으로 사용되던 ExacTrac 또는 CBCT의 단일한 IGRT 후 생길 수 있는 Set-up 오차 보정값을 확인하여 치료시 발생할 수 있는 환자의 부작용의 감소와 치료부위에 대한 정확한 조사로 환자에게 수준 높은 치료가 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Duma CM1, Flickinger JC et al.: Stereotactic radiosurgery of cavernous sinus meningiomas as an addition or alternative to microsurgery. 1993 May;32(5):699-704
2. Kenneth Rosenzweig et al.: Stereotactic Body Radiation Therapy as an Alternative to Surgery in Early-Stage Non-Small-Cell Lung Cancer. 2017, 31(6):492-498
3. Chia-Lin Tseng, Wietse Eppinga, Raphaele Charest-Morin et al.: Spine Stereotactic Body Radiotherapy: Indications, Outcomes, and Points of Caution. 2017, Vol. 7(2) 179-197
4. Joanne N. Davis, Clinton Medbery, Sanjeev Sharma, John Pablo, Frank Kimsey, David Perry, Alexander Muacevic and Anand Mahadevan Stereotactic body radiotherapy for centrally located early-stage non-small cell lung cancer or lung metastases from the RSSearch patient registry 201510:113
5. Joe H. Chang, John H. Shin, Yoshiya J. Yamada et al.: Stereotactic Body Radiotherapy for Spinal Metastases. 2016, 41 Suppl 20: S238-S245
6. N D Richmond, K E Pilling, C Peedell et al.: Positioning accuracy for lung stereotactic body radiotherapy patients determined by on-treatment cone-beam CT imaging. 85 (2012), 819-823
7. John H. Heinzerling, Lech Papiez, Stanley Chien et al.: Stereotactic Body Radiation Therapy: Evaluation of Setup Accuracy and Targeting Methods for a New Couch Integrated Immobilization System. 2018, ISSN 1533-0346
8. Jian-Yue Jin, Fang-Fang Yin, Stephen E. Tenn et al.: Use of the BrainLAB ExacTrac X-Ray 6D System in Image-Guided Radiotherapy. 2008, 33(2):124-345

## Evaluation of Combine IGRT using ExacTrac and CBCT In SBRT

Department of Radiation Oncology, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea

**Ahn Min Woo, Kang Hyo Seok, Choi Byoung Joon, Park Sang Jun,  
Jung Da Ee, Lee Geon Ho, Lee Doo Sang, Jeon Myeong Soo**

**Purpose :** The purpose of this study is to compare and analyze the set-up errors using the Combine IGRT with ExacTrac and CBCT phased in the treatment of Stereotatic Body Radiotherapy.

**Methods and materials :** Patient who were treated Stereotatic Body Radiotherapy in the ulsan university hospital from May 2014 to november 2017 were classified as treatment area three brain, nine spine, three pelvis. First using ExacTrac Set-up error calibrated direction of Lateral(Lat), Longitudinal(Lng), Vertical(Vrt), Roll, Pitch, Yaw, after applied ExacTrac moving data in addition to use CBCT and set-up error calibrated direction of Lat, Lng, Vrt, Rotation(Rtn).

**Results :** When using ExacTrac, the error in the brain region is Lat  $0.18\pm 0.25$  cm, Lng  $0.23\pm 0.04$  cm, Vrt  $0.30\pm 0.36$  cm, Roll  $0.36\pm 0.21^\circ$ , Pitch  $1.72\pm 0.62^\circ$ , Yaw  $1.80\pm 1.21^\circ$ , spine Lat  $0.21\pm 0.24$  cm, Lng  $0.27\pm 0.36$  cm, Vrt  $0.26\pm 0.42$  cm, Roll  $1.01\pm 1.17^\circ$ , Pitch  $0.66\pm 0.45^\circ$ , Yaw  $0.71\pm 0.58^\circ$ , pelvis Lat  $0.20\pm 0.16$  cm, Lng  $0.24\pm 0.29$  cm, Vrt  $0.28\pm 0.29$  cm, Roll  $0.83\pm 0.21^\circ$ , Pitch  $0.57\pm 0.45^\circ$ , Yaw  $0.52\pm 0.27^\circ$  When CBCT is performed after the couch movement, the error in brain region is Lat  $0.06\pm 0.05$  cm, Lng  $0.07\pm 0.06$  cm, Vrt  $0.00\pm 0.00$  cm, Rtn  $0.0\pm 0.0^\circ$ , spine Lat  $0.06\pm 0.04$  cm, Lng  $0.16\pm 0.30$  cm, Vrt  $0.08\pm 0.08$  cm, Rtn  $0.00\pm 0.00^\circ$ , pelvis Lat  $0.06\pm 0.07$  cm, Lng  $0.04\pm 0.05$  cm, Vrt  $0.06\pm 0.04$  cm, Rtn  $0.0\pm 0.0^\circ$ .

**Conclusion :** Combine IGRT with ExacTrac in addition to CBCT during Stereotatic Body Radiotherapy showed that it was possible to reduce the set-up error of patients compared to single ExacTrac. However, the application of Combine IGRT increases patient set-up verification time and absorption dose in the body for image acquisition. Therefore, depending on the patient's situation that using Combine IGRT to reduce the patient's set-up error can increase the radiation treatment effectiveness.

► **Key words :** ExacTrac, CBCT, Combine IGRT