

---

# Comparison of Target Localization Error between Conventional and Spiral CT in Stereotactic Radiosurgery

Dept. of Radiation Oncology, Samsung Medical Center  
Sungkyunkwan University, School of Medicine

Jong Sik Kim · Sang Kyu Ju · Young Hwan Park

---

The accuracy of the target localization was evaluated by conventional and spiral CT in stereotactic radiosurgery. Conventional and spiral CT images were obtained with geometrical phantom, which was designed to produce exact three-dimensional coordinates of several objects within 0.1mm error range. Geometrical phantom was attached by BRW headframe, intermediate head ring, and CT localizer. Twenty-seven slices of conventional CT image were scanned at 3mm slice thickness. Spiral CT images were scanned at 3mm slice thickness from the pitch value 1 to 3, and twenty-seven slices of image were obtained per each the pitch value. These CT images were transferred to a treatment planning system(X-knife, Radionics) by ethernet. Three-dimensional coordinates of these images measured from the treatment planning system were compared to known values of geometrical phantom. The mean localization error of the target localization of conventional CT was 1.4mm. In case of spiral CT, the error of the target localization was within 1.6mm from the pitch value 1 to 1.3, but was more than 3.0mm above the pitch value 1.5. In conclusion, as the localization error of spiral CT was increased in high pitch value compared to conventional CT, the application of spiral CT will be with caution in stereotactic radiosurgery.

*Key Words*: Accuracy of target localization, Conventional CT, Spiral CT, Stereotactic radiosurgery.

## I. 서 론

정위적 방사선수술은 1940년대 후반 Lekcell에 의해 orthovoltage X-선을 이용하여 처음 시도되었으며, 현재에는 적용범위의 확대와 치료방법의 변화 즉 정확한 target localization, patient coordinate system, 최적화된 dose의 분포,

정확한 dose delivery 등의 현저한 발전을 하고 있다.

또한 의료 선진국에서는 non-isocentric technique의 cyber-knife를 이용하여 실제 환자의 치료에 적용하고 있으며, 이는 방사선치료의 고정적인 관념을 넘어선 매우 혁신적인 일이다.

일반적으로 정위적 방사선수술을 적용하기 위

한 기본적인 요소로는 정확한 target localization, LINAC의 isocenter와 patient coordinate system간의 mechanical QA, 최적화된 치료계획, 정확한 dose delivery 그리고 환자를 보호할 수 있는 safety system을 들 수 있으며, 이들 중 가장 중요한 것은 정확한 target localization이다.

정위적 방사선수술에서 정확한 target localization은 치료성적을 좌우하는 매우 중요한 요소이며, 이를 위해 CT, MRI, digital angiography 등의 진단학적 image를 이용하고 있다. 이러한 진단학적 image중 CT image는 3차원적 치료 좌표를 결정하는 지표로서 매우 중요한 역할을 하고 있다.

CT image는 scan방식에 따라 conventional CT와 spiral CT로 구분되며, Fig. 1은 conventional CT와 spiral CT의 원리를 도식화 한 것으로서 spiral CT의 경우 pitch value - CT image의 slice thickness를 기준으로 하여 gantry의 X-ray tube가 360° 회전할 때 couch의 이동 거리의 비를 변화시키면서 다양한 기능적인 검사를 수행할 수 있고, scan time을 현저히 감소시켜 업무의 효율성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 pitch value가 증가함으로써 공간적 분해능 떨어지며 image distortion이 증가하는 단점을 가지고 있다.

일반적으로 정위적 방사선 수술에서는 conventional scan방식을 사용하고 있으며 본 논문에서는 CT scan 방식에 따른 target localization의 변화 및, spiral CT의 유용성에 대하여 평가하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

사용된 장비는 phantom 내부의 4가지 object (cone, cube, cylinder, sphere)에 대하여 이미 알려진 3차원적 좌표를 갖도록 고안된 geometrical phantom(RSA geometrical phantom, Radionics, USA), CT heading 그리고 geometrical phantom과 CT heading을 고정시키기 위한 intermediate heading이 사용되었고, Fig. 2는 CT scan을 위하여 setting된 geometrical phantom의 모습이다. 그리고 RTP(X-knife, Radionics, USA) system에서 phantom의 각 object에 대한 3차원적 좌표를 결정하기 위하여 CT localizer를 사용하였다. Fig. 3은 CT scan을 위하여 geometrical phantom을 set-up 한 모습이며 사용된 CT scanner는 CT high speed advantage(GE medical system, milwaukee, USA)를 이용하였다.

각각의 object에 대한 conventional scan과 spiral scan 방식의 정확한 3차원적 좌표를 측정하기

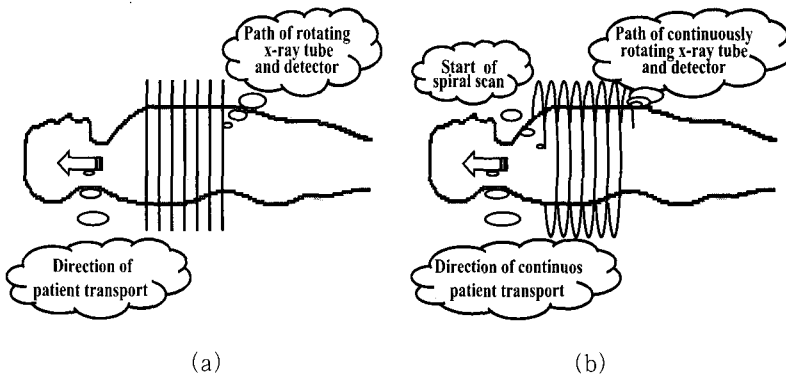


Fig 24. The principle of conventional CT(a) vs. spiral CT(b)

The pitch is defined as the table feed distance per 360° rotation divided by the section collimator

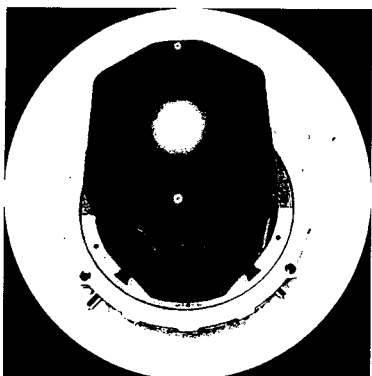


Fig. 2. setting of geometrical phantom

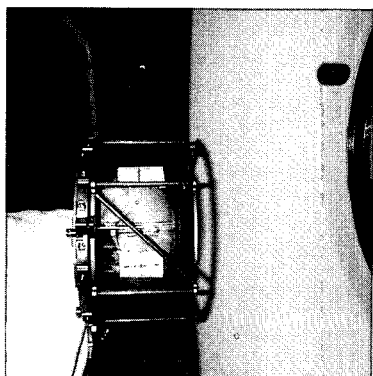


Fig. 3. set-up of geometrical phantom for CT scan

위하여 X-knife planning system을 이용하였다.

geometrical phantom을 이용하여 3 mm 간격으로 27 slice의 conventional CT image를 얻었고, spiral CT의 경우에는 conventional CT와 동일한 간격으로 pitch value를 1~3(1, 1.3, 1.5, 1.7, 2, 2.3, 2.5, 3)까지 변화시키면서 각 pitch value당 27 slice의 image를 얻었다. 각각의 CT image는 ethernet을 통하여 X-knife system으로 전송되었고, 전송된 CT image는 X-knife system의 image control function을 이용하여 geometrical phantom 내부의 4가지 object에 대하여 contouring을 하였다. 그리고 target coordinate function을 이용하여 conventional CT와 spiral

CT의 각 pitch value당 4가지 object에 대한 3차원적 좌표를 측정하였으며, 본 실험의 객관성을 부여하기 위하여 contouring에서 좌표 측정까지 3회 반복 측정하여 분석하였다. 측정된 좌표들은 geometrical phantom의 object들이 가지고 있는 고유의 값과 비교하여 다음 식에 의거 CT localization error를 계산하였다.

$$\text{CT localization error} = \sqrt{(\Delta AP)^2 + (\Delta)^2 + (\Delta VERT)^2}$$

그리고 계산된 CT localization error는 AAPM (American Association of Physicists in Medicine)의 권고치(Table 1)와 X-knife system의 허용범위와 비교하였다.

X-knife system에서 target localization의 과정은 다음과 같다.

좌표를 결정할 object를 선택을 하고 object의 geometric center에 target을 위치시키고, vertical 좌표를 측정하기 위하여 object의 top부분에 target의 bottom부분이 위치되도록 VERT dial을 조절한다. 만일 2 cm collimator를 사용하였으면 측정된 좌표에서 1 cm을 감산하여 vertical 좌표를 측정하였고, AP & LAT 좌표는 target circle이 object에 symmetric하게 위치되도록 AP

Table 1. Achievable uncertainties in SRS  
(unit : mm)

slice thickness	1	3
stereotactic frame	1.0	1.0
isocentric alignment	1.0	1.0
CT image resolution	1.7	3.2
tissue motion	1.0	1.0
angio	0.3	0.3
position uncertainty	2.4	3.7

\* CT localization error의 tolerance는 2 mm 이내이다.

\* 장비의 허용범위는 AP & LAT의 경우 최대 2 mm(평균 1 mm 이내)이고, VERT은 slice thickness 보다 작아야 한다.

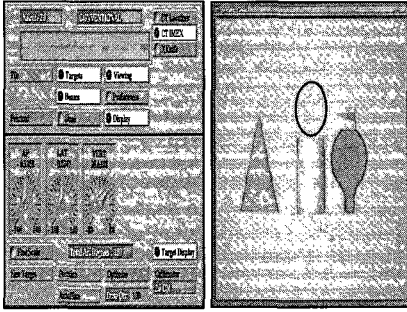


Fig. 4. measurement of coordinates for each object (conventional CT)

& LAT dial을 조절하여 측정하였다. Fig. 4는 각 각의 object에 대한 3차원적 좌표를 측정하는 모습이다.

또한 conventional CT와 spiral CT의 scan time과 검사시의 조직에 대한 흡수선량을 비교하여 정위적 방사선수술에서의 spiral CT에 대한 유용성을 평가하였다.

### III. 결 과

#### 1. CT localization error의 비교

X-knife system을 이용하여 conventional CT와 spiral CT의 target localization error를 측정해본 결과, Table 2에서 알 수 있듯이 conventional CT의 경우에는 AAPM의 권고치와 X-knife sys-

Table 2. CT localization error by scan method (unit : mm)

	$\Delta AP$	$\Delta LAT$	$\Delta VERT$	ERROR
Conv.	0.32	0.66	1.20	1.40
PITCH1.0	0.40	0.40	1.00	1.20
PITCH1.3	0.40	0.70	1.30	1.53
PITCH1.5	0.40	0.90	0.30	3.00
PITCH1.7	0.70	0.50	3.20	3.34
PITCH2.0	0.70	1.03	3.30	3.54
PITCH2.3	0.46	0.72	3.50	3.66
PITCH2.5	0.60	1.10	3.50	3.74
PITCH3.0	0.60	1.10	3.70	3.95

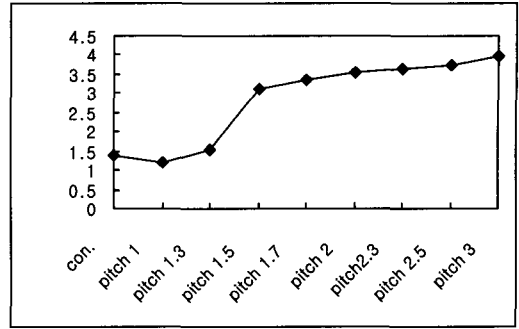


Fig. 5. graph for CT localization error by scan method(unit : mm)

tem의 허용범위를 만족시키는 것을 알 수 있었고 spiral CT의 경우에는 pitch 1~1.3까지는 조건에 만족하는 값을 얻을 수 있었으나 그 이상의 pitch value에서는 조건을 초과하는 값이 측정됨을 알 수 있었다.

Fig. 5는 scan 방식에 따른 CT localization error를 보여주고 있으며 error의 범위가 2mm 이내인 것은 conventional CT와 spiral CT의 pitch 1~1.3까지 임을 알 수 있었다.

#### 2. scan time 비교

scan time의 경우 conventional CT에서는 27 slice의 image를 얻는데 54 sec가 소요되었고, spiral CT의 경우 pitch value 1일 때 conventional CT의 1/2정도가 소요되었다. Table 3과 Fig. 6은 scan 방식별 scan time을 보여주고 있다.

Table 3. scan time of each scan method

Scan time(sec)	
Conv.	54
PITCH1.0	27
PITCH1.3	21
PITCH1.5	18.4
PITCH1.7	16.3
PITCH2.0	14
PITCH2.3	12.4
PITCH2.5	11.4
PITCH3.0	9.7

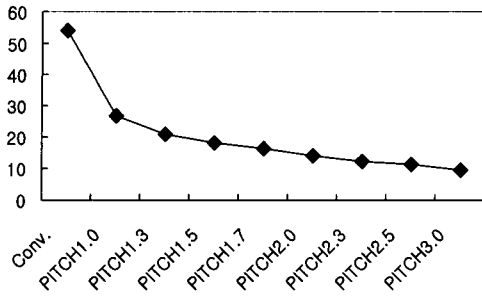


Fig. 6. graph of scan time(unit : sec.)

### 3. 흡수선량 비교

인체에 장애를 일으킬 수 있는 저선량 방사선의 한계는 1회 노출시 약 100 mSv이며(Modan, 1989), 두부의 CT의 경우 주선속에서 뇌의 중앙부가 받는 흡수선량은 conventional CT에서 40.35 mGy, spiral CT에서는 38.89 mGy였다. 그리고 산란선 부분에서 받는 감상선의 경우 conventional CT에서 1.80 mGy, spiral CT에서는 1.79 mGy였다. Table 4와 같이 conventional CT와 spiral CT의 장기별 흡수선량은 통계적으로 상이한 차이는 없었다.

Table 4. absorbed dose of each organ & tissue in conventional and spiral CT.(unit : mGy)

region	conventional	spiral
anterior surface of brain	41.75±0.04	45.15±0.98
mid area of brain	40.35±1.17	38.89±4.75
post. surface of brain	37.18±0.80	35.34±1.87
eyeball	41.67±3.47	40.85±4.42
thyroid	1.80±0.02	1.79±0.08
breast	0.41±0.09	0.46±0.06
liver	0.24±0.02	0.25±0.04
uterus	0.21±0.03	0.21±0.04

## IV. 결 론

정위적 방사선수술에서 치료성적을 좌우하는

대표적인 인자로는 target definition과 dose delivery 특성에 따른 machine tolerance로 규정할 수 있으며, 이들 인자 중 target definition은 진단학적 image의 분해능에 의해 target region, macroscopic 그리고 microscopic region의 변화를 가져올 수 있으며, 치료계획시 매우 중요한 역할을 하고 있다.

conventional CT와 spiral CT의 CT localization error를 분석한 결과, 현재 사용중인 conventional CT의 경우에는 기준치를 만족시켰으나, spiral CT의 경우에는 pitch value가 낮은 영역에서는 매우 우수한 data를 얻을 수 있었지만 pitch value가 증가함에 따라 error가 증가함을 알 수 있었다. 그 이유는 spiral scan 방식에 따른 image의 공간적 분해능 저하와 distortion의 증가로 사료된다.

그리고 spiral CT는 conventional CT에 비해 scan time을 1/2 이상 감소시킬 수 있었으며, 이 data는 phantom을 대상으로 이루어진 것이며 실제 환자의 경우에는 slice가 증가하기 때문에 더 많은 차이를 보일 것이며, 적정영역의 pitch value를 선택하여 spiral CT를 적용한다면 CT 검사실 근무자의 업무 loading을 감소시킬 수 있는 방안이 될 것이다.

따라서 spiral CT를 정위적 방사선수술에 적용시 반드시 이러한 검증 후에 적용되어야 할 것이며, 다양한 진단학적 image를 치료계획에 이용하는 시점에서 이들에 대한 정형화되고 주기적인 QA가 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. AAPM STEREOTACTIC RADIOSURGERY  
AAPM REPORT NO. 54 : 1995
2. Francis J. Schlueter, Ge Wang, Paul S. Hsieh, James A. Brink, Dennis M. Balfe, Michael W. Vannier. Longitudinal Image Deblurring in Spiral CT. Radiology, 1994 : 193 : 413-418

3. Willi A. Kalender, Wolfgang Seissler, Ernst Klotz, Peter Vock. Spiral Volumetric CT with Single-Breath-Hold Technique, Continuous Transport, and Continuous Scanner Rotation. *Radiology*1, 990 ; 176 : 181-183
4. Willi A. Kalender, Arkadiusz Polacin. Physical performance characteristics of spiral CT scanning. *Med. Phys.* 18(5), Sep/Oct 1991 : 910-915
5. Willi A. Kalender, Arkadiusz Polacin. Measurement of slice sensitivity profiles in spiral CT. *Med. Phys.* 21(1), Jan 1994 : 1-8
6. Jay P. Heiken, James A. Brink, Michael W. Vannier. Spiral(Helical) CT. *Radiology*, 1993 ; 189 : 647-656
7. Dong-Rak Choi, Yong-Chan Ahn, Dae-Yong Kim, Seung-Jae Huh, Jung-Il Lee. ACCURACY IN TARGET LOCALIZATION IN STEREOTACTIC RADIOSURGERY. *Medical Dosimetry*, 22(1), 1997 : 55-58
8. Leksell, L. T. The stereotactic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir. Scand.* 1951 ; 102 : 316-319
9. Lutz W. ; Winston K. R. ; Maleki, N. A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 14 : 1988 : 373-381
10. 김문찬, 장관현, 정환, 주상규. 고식적 CT와 나선형 CT 검사시 장기 및 조직의 방사선 흡수선량. *대한방사선사 협회지*, 24(2) : 1998 : 111-120