

폐암환자의 비동일평면 선속 빔 치료 시 HexaPOD evo RT system 의 정확성 평가

연세암병원 방사선 종양학과

장세욱 · 조강철 · 이상규 · 김주호 · 조정희

목 적 : 폐암환자의 비동일면 선속 빔(Non-coplanar beam) 을 이용한 방사선치료 시 HexaPOD evo RT system(6D couch)의 정확성을 평가 하고 자 한다.

대상 및 방법 : 본원에서 SBRT 환자 중 비동일면 선속 빔을 사용한 폐암환자 13명과, 동일면 선속 빔을 사용하는 폐암환자 10명을 대상으로 하였다. 대상 환자의 자세보정에 있어 Pitch, Roll, Yaw 방향에 대한 보정을 적용, 미적용으로 구분하고, 레이저(Laser)를 Arccheck(Helical grid diode detectors)의 동 중심점에 정렬시킨 후 Arccheck으로 꺾과 전리함(Pinpoint type chamber)을 이용하여 점 선량을 측정하였다. 평가를 위해 점 선량 측정값과 γ Index(3% / 3 mm, 2% / 2 mm)를 지표로 비교분석 하였다.

결 과 : HexaPOD 미적용 시 치료계획과 비교하여 동일평면 선속 빔의 경우 γ Index($\gamma=1$, 3% / 3 mm) 비율은 97.3%, 점 선량은 0.8%의 차이를 보였다. 비 동일평면 선속 빔의 경우 각각 90.8%, 0.7%로 나타났다. HexaPOD 적용 시, 같은 조건에서 동일평면 선속 빔의 경우 각각 99.5%, 0.6%를 나타냈으며, 비 동일평면 선속 빔의 경우 각각 97.8%, 0.5%의 결과를 나타냈다. γ Index($\gamma=1$, 2% / 2 mm)의 경우, HexaPOD 미적용 시 동일평면 선속 빔의 경우 82%, 비 동일평면 선속 빔의 경우 78.3%를 나타냈으며 HexaPOD 적용 시 각각 91.2%, 93.4%의 결과가 나타났다.

결 론 : HexaPOD를 적용한 경우가 더욱 정확성이 향상되는 것을 확인할 수 있어, 고 정밀 방사선치료의 비 동일평면 선속 빔 사용 시 HexaPOD 사용이 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 폐암환자의 비 동일 평면 선속 빔 치료 시 HexaPOD evo RT system 의 정확성 평가

서 론

방사선 치료의 목적은 정상장기에 최소한의 선량을, 종양에는 최대한의 선량을 전달하는 것이다. 이를 구현하기 위해 치료기술은 많은 발전을 거듭하였고, Brahme 등에 의해 제시된 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT)는 종양의 모양에 맞게 정밀하게 선량을 전달 할 수 있어 보편적으로 채택되고 있는 치료법이다¹⁾. 이와 더불어 정확하게 자세를 재현하는 것이 중요해졌으며 이를 위해 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy; IGRT)가 소개되었다.

IGRT는 치료 시 모의치료와 동일한 환자의 자세를 재현

하기 위해 치료테이블의 평면상의 3가지 방향인 좌우(Left Right; LR), 위아래(Super Inferior; SI), 전후(Anterior Posterior; AP) 방향으로 오차를 알아내고, 계산된 오차만큼 치료테이블을 보정하여 치료 전 자세를 치료계획시의 자세와 가장 근접하게 재현할 수 있다. 이를 통해 정확하고 정밀한 치료가 요구되는 정위적방사선수술(Stereotactic RadioSurgery; SRS)이나 정위적 체부 방사선 치료(Stereotactic Body Radiation Therapy; SBRT)시 정확한 선량 전달이 가능하다.

최근에는 앞서 언급된 3방향 외에 체부 회전에 대한 3가지 방향을 추가적으로 보정할 수 있는 Six Degree Freedom Couch (6D couch)를 도입하여 출시되고 있다.

HexaPOD evo RT system(Elekta)은 6D couch 중 하나로써, 기존의 테이블을 기반으로 한 자동변환 테이블(Robotic couch)이다. 이는 원뿔형선속컴퓨터단층장치(Cone Beam

본 논문은 2015년 10월 02일 접수하여 2015년 12월 09일 채택되었음.

책임저자 : 장세욱, 연세암병원 방사선종양학과
서울시 서대문구 신촌동 134
Tel: 02) 2228-4346
E-mail : sewukj@yuhs.ac

Computed Tomography, CBCT)를 관장하는 X-ray Volume Imaging system(XVI, Elekta)과 연동되어 치료 자세의 오차 계산을 수행하고, 기존의 3가지의 수평방향(LR, SI, AP)과 3가지의 회전방향(Pitch, Roll, Yaw)으로 각각 0.01 mm, 0.01 ° 단위의 미세한 보정으로 환자 자세를 정밀하게 재현하는 것이 가능하게 함에 따라 고 선량 치료 및 특수치료에서도 유용한 것으로 보고되고 있다²⁶⁾.

하지만 대조적으로 비 동일평면 선속 빔(Non-coplanar beam)을 사용한 경우 각 회전방향보정에 따른 선량전달 정확성에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 HexaPOD evo RT system을 이용한 비 동일평면 선속 빔을 사용 시 HexaPOD의 회전방향보정 유무에 따른 정확성을 평가하고, 임상적으로 유용한지 알아보고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

본원에서 치료한 폐암환자 중 동일평면 선속 빔(Coplanar beam)을 사용한 10명과 비 동일평면 선속 빔을 사용한 13명을 대상으로 하였다.

2. CT-simulation

환자는 Civco사의 팔 지지대(arm-rest)를 이용하여 바로 누운 자세(supine position)에서 팔을 머리위로 편안하게 올린 상태를 유지한 후 모의 치료 표준용 CT-simulator (SOMATOM Sensation Open 16 MDCT, Siemens AG, Germany & Aquilion LB, TSX-201A, Toshiba, Japan)를 이용하여 치료계획에 필요한 CT영상을 획득하였다.

3. 치료계획

CT영상은 네트워크(Digital Image Communication in medicine; DICOM)을 통해 치료계획 시스템(Radiation Treatment Planning System; RTP)으로 전송하였다. 이후 Ray Station 4.5(Ray Search Laboratories, Sweden)을 이용하여 종양의 위치 및 모양에 적절한 선량분포를 만들어내기 위해 6개에서 8개의 비 동일평면 선속 빔을 사용하여 치료

계획을 수립하였으며, 동일평면 선속 빔을 이용한 치료로 최적화 및 목적된 선량을 전달할 수 있는 환자의 경우 동일 평면 선속 빔을 이용하여 치료계획을 수립하였다.

3. 측정장비

선량 전달에 사용된 선형가속기는 VersaHD(Elekta, Sweden)를 이용하였다. 선량 전달의 정확도를 평가하기 위한 지표로 점 선량(Point Dose)를 측정하였고 이를 위해 PinPoint Chamber(A1SL, Standard Imaging, USA)를 이용하였다. 선량 분포도를 평가 하기위해서는 Arccheck (Helical diode type, Sunnuclear, USA)을 이용하였다.

4. 선량 전달

HexaPOD를 적용하지 않을 경우의 상태를 구현하기 위하여 Arccheck을 실제 치료 시 각각의 환자들의 회전방향 (Rotation: Pitch, Roll, Yaw)에 대한 보정 값으로 임의로 회전을 시킨 후 테이블이 회전되지 않은 상태에서 회전된 각각의 3방향의 평균지점을 Arccheck의 동중심점(Isocenter)

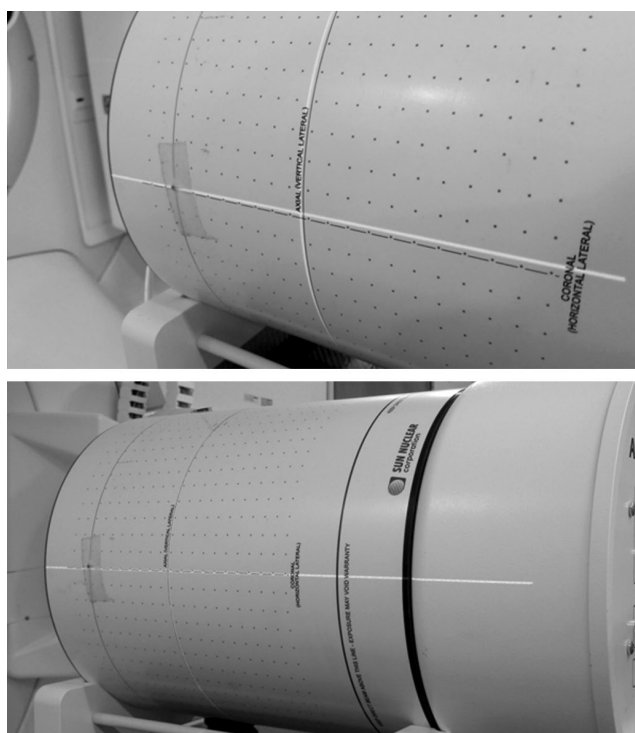


Fig 1. Laser align with isocenter of arccheck, (a) Without HexaPOD correction (b) with HexaPOD correction

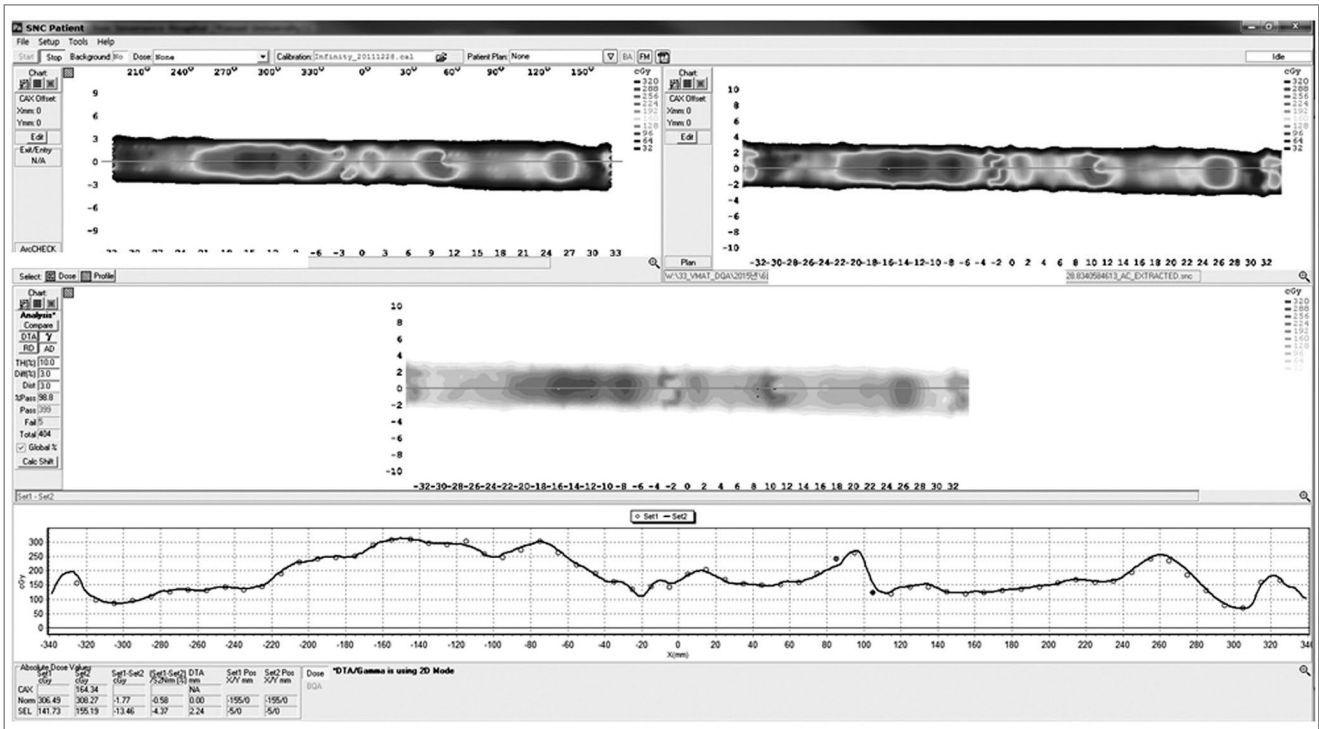


Fig 2. Acquire the dose distribution data and calculate the ratio(gamma index $\langle 1 \rangle$) by SNC-Patient

으로 하여 레이저(Laser)를 정렬시켰다. 이와 달리 HexaPOD를 적용한 경우는 위와 동일하게 Arccheck을 임의로 회전시킨 후 테이블이 회전되지 않은 상태에서 HexaPOD를 이용하여 회전방향에 대한 보정을 실시하여 Arccheck의 X, Y, Z축에 레이저를 정확히 정렬시켜 Arccheck의 동중심점에 레이저가 정렬되도록 하였다. 각각의 HexaPOD 적용, 미적용에 따른 상태에서 2회씩 선량을 전달하였다(Fig. 1).

5. 분석

점 선량 측정을 위하여 SNC-PC-Electrometer를 이용하여 챔버에서 수집된 전하량을 기반으로 기온과 기압 등을 보정하여 선량을 측정하였으며, 계획된 치료선량과 비교하였다.

Arccheck을 이용하여 선량분포를 얻고 이를 SNC-Patient를 이용하여 Distance to Agree (DTA) 3 mm, 3%의 조건과, DTA 2 mm, 2%의 조건에서 Gamma Index가 1 이하인 경우를 구하였다(Fig. 2).

결 과

1. 동일평면 선속 빔

1) HexaPOD 미적용 시

점 선량 측정 결과 치료계획과 최소 0.1%, 최대 1.9%의 차이가 나타났으며 표준편차는 0.01, 평균 0.8%의 차이가 나타났다. Gamma Index $\langle 1 \rangle$ (\neq DTA 3 mm / 3%)의 경우 최소 95.7%, 최대 99.3%로 나타났으며, 표준편차는 1.38로 평균 97.3%를 나타냈다. Gamma Index $\langle 1 \rangle$ (\neq DTA 2 mm / 2%)의 경우 최소 74.3%, 최대 93%로, 표준편차 6.7, 평균 82%를 나타냈다(Table 1).

2) HexaPOD 적용 시

점 선량 측정 결과 치료계획과 최소 0%, 최대 1.8%의 차이가 나타났으며 표준편차는 0.01, 평균 0.6%의 차이가 나타났다. Gamma Index $\langle 1 \rangle$ (\neq DTA 3 mm / 3%)의 경우 최소 98.1%, 최대 100%로 나타났으며, 표준편차는 0.52로 평균 99.5%를 나타냈다. Gamma Index $\langle 1 \rangle$ (\neq DTA 2 mm /

Table 1. The results of coplanar beams.

PT No.	3mm-3% with 6D	3mm-3% without 6D	2 mm-2% With 6D	2 mm-2% Without 6D	Point Dose With 6D	Point Dose Without 6D
1	98.1%	95.8%	81.2%	74.3%	0.2%	0.4%
2	99.6%	97.7%	93.1%	79.6%	1.8%	1.9%
3	99.6%	97.7%	81.7%	82.1%	1.4%	1.2%
4	99.6%	97.4%	88.6%	76.1%	1.2%	0.9%
5	99.9%	95.7%	84.3%	77.3%	0.1%	0.2%
6	100%	99%	97.8%	90.6%	0.3%	0.5%
7	99.8%	98.7%	96.7%	89.8%	0%	0.1%
8	99.7%	96.1%	91.4%	77.2%	0.2%	1.3%
9	99.7%	95.9%	99.6%	80.6%	0.1%	1.1%
10	99.6%	99.3%	98.3%	93%	1.0%	0.9%
Min	98.1%	95.7%	81.2%	74.3%	0%	0.1%
Max	100%	99.3%	99.6%	93%	1.8%	1.9%
Mean	99.5%	97.3%	91.2%	82%	0.6%	0.8%
SD	0.52	1.38	7.04	6.7	0.01	0.01

2%)의 경우 최소 81.2%, 최대 99.6%로, 표준편차 7.04, 평균 91.2%를 나타냈다(Table 1).

2. 비 동일평면 선속 빔

1) HexaPOD 미적용 시

점 선량 측정 결과 치료계획과 최소 0%, 최대 2.66%의 차이가 나타났으며 표준편차는 0.01, 평균 0.7%의 차이가 나타났다. Gamma Index <1 (≠DTA 3 mm / 3%)의 경우 최소 85.6%, 최대 94.4%로 나타났으며, 표준편차는 3.1로 평균 90.8%를 나타냈다. Gamma Index <1 (≠DTA 2 mm / 2%)의 경우 최소 65.5%, 최대 85.8%로, 표준편차 5.9%, 평균 78.3%를 나타냈다(Table 2).

2) HexaPOD 적용 시

점 선량의 경우 최소 0%, 최대 1.8%의 차이가 났으며 표준편차는 0.01, 평균 0.5%의 차이를 나타냈다. Gamma Index <1 (≠DTA 3 mm / 3%)의 경우 최소 95.2%, 최대 99.9%로 나타났으며, 표준편차는 1.44로 평균 97.7%를 나타냈다. Gamma Index <1 (≠DTA 2 mm / 2%)의 경우 최소 90.5%, 최대 96.3%로, 표준편차 1.75, 평균 93.4%를 나타냈다(Table 2).

결론

점 선량을 측정할 경우 동일평면 선속 빔에서 HexaPOD 적용 시 미적용 시 보다 0.2% 가량 정확성이 개선되었으며, 비 동일평면 선속 빔에서 또한 HexaPOD 사용 시 0.2% 가량 개선되었다. ESTRO-guideline에서는 치료계획 시 선량과 실제 측정된 점 선량과의 차이가 3% 이내임을 권고하고 있는 것을 고려하면 HexaPOD의 사용은 점 선량에 있어 그 정확성 개선이 있음을 확인 하였다⁷⁾. 하지만 그 차이 값이 크지 않아 통계적으로 유의미하지 않았다(p>0.05), (Fig. 3).

선량 분포를 분석하기 위한 기준으로 Gamma Index <1 (≠DTA 3 mm / 3%)의 경우 동일평면 선속 빔에서 HexaPOD 사용 유무에 상관없이 95%이상의 결과를 보여주었으며, HexaPOD 사용시 2.2%의 정확도에 개선이 있었다. TG-119에서 DTA 3 mm, Dose difference 3%의 경우 Gamma Index <1의 비율이 95%이상을 권고하는 것을 고려하면 일반적인 IMRT 시행 시 HexaPOD의 사용은 필수적이지 않지만, HexaPOD의 사용이 선량전달 정확성을 높일 수 있는 것으로 볼 수 있다^{8,9)}.

비 동일평면 선속 빔의 경우 HexaPOD 미적용 시에는 90.8%, HexaPOD 적용 시 97.7%의 결과를 나타냈다. Stefan등은 IMRT의 정도관리(Quality Assurance; QA) 시

Table 2. The results of non-coplanar beams.

PT No.	3mm-3% with 6D	3mm-3% without 6D	2 mm-2% With 6D	2 mm-2% Without 6D	Point Dose With 6D	Point Dose Without 6D
1	99.8%	94.3%	96.3%	83%	0%	0.2%
2	97.2%	92.4%	94.9%	81.9%	0.5%	0.3%
3	95.2%	85.6%	92.2%	70.2%	0.8%	0.2%
4	98%	90.2%	92.4%	78.3%	1.8%	2.7%
5	96%	92.5%	93.5%	80.6%	0.1%	0.2%
6	98.2%	85.6%	92.5%	65.5%	1%	1.6%
7	96.6%	87.%	90.5%	72.1%	1.1%	1.3%
8	97.3%	89.3%	94.2%	75.2%	0.1%	0.1%
9	97%	90.8%	92.8%	80%	0.1%	0.5%
10	99.9%	94.4%	95.5%	82.1%	0.1%	0.4%
11	97.7%	94.4%	91.5%	85.8%	0.3%	0.9%
12	98.5%	92.2%	93.1%	79.4%	0.2%	0.1%
13	99.6%	92.1%	95.7%	84.4%	0.5%	1.2%
Min	95.2%	85.6%	90.5%	65.5%	0.02%	0%
Max	99.9%	94.4%	96.3%	85.8%	1.81%	2.66%
Mean	97.7%	90.8%	93.4%	78.3%	0.5%	0.7%
SD	1.44	3.1	1.75	5.98	0.01	0.01

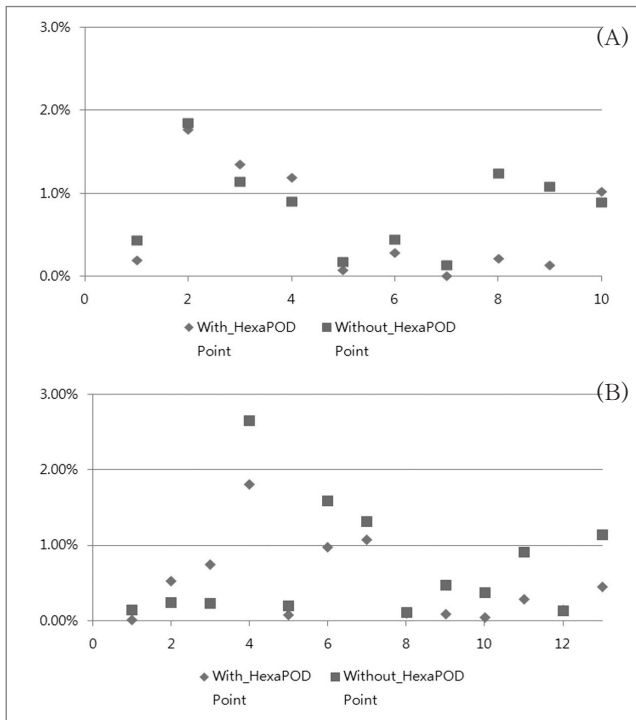


Fig 3. The difference of the point dose what comparing planned dose with measured dose are very slightly both coplanar and non-coplanar beams, (a) The results of point dose in coplanar (b) the result of point dose in non-coplanar

행 및 분석에 있어 Gamma Criteria를 치료 부위 및 시행하는 기관의 환경에 맞게 적절히 사용할 것을 권고 하고 있으며 90% 이상을 제안하고 있다¹⁰⁾. 이를 고려하면 HexaPOD 미적용 시에도 치료 부위 및 적절한 IMRT QA 방법이 적용된다면 임상 치료가 가능한 것으로 볼 수 있다.

Gamma Index <1 (\neq DTA 2 mm / 2%)의 경우 동일평면 선속 빔에서 HexaPOD 적용 시 90%, HexaPOD 미적용 시 82% 결과를 나타냈다. 또한 비 동일평면 선속 빔의 경우 HexaPOD 적용 시 90%의 이상의 결과를 보여주었으며, 미적용 시 78%의 결과를 보여주었다(Fig. 4).

더욱 엄격한 Gamma Criteria를 적용하였을 때, HexaPOD 사용은 정확하게 환자의 자세를 보정함으로써 치료 정확성을 높일 수 있지만, HexaPOD를 사용하지 않은 경우 선량 전달의 정확성이 다소 떨어지는 결과가 나타나 HexaPOD의 사용은 고 선량 및 고 정밀 치료에 매우 효율적임이 확인하였다.

본 연구에서는 HexaPOD 사용 시 비 동일평면 선속 빔에서의 선량분포 정확도가 동일평면 선속 빔보다 더 크게 증가하였다. 이는 동일평면 선속 빔의 경우 한 각도에서만 보정이 되지 않은 상태에서 빔이 전달이 되나, 비 동일평면 선속 빔의 경우 테이블(Couch)의 여러 각도와 더불어 회전 각

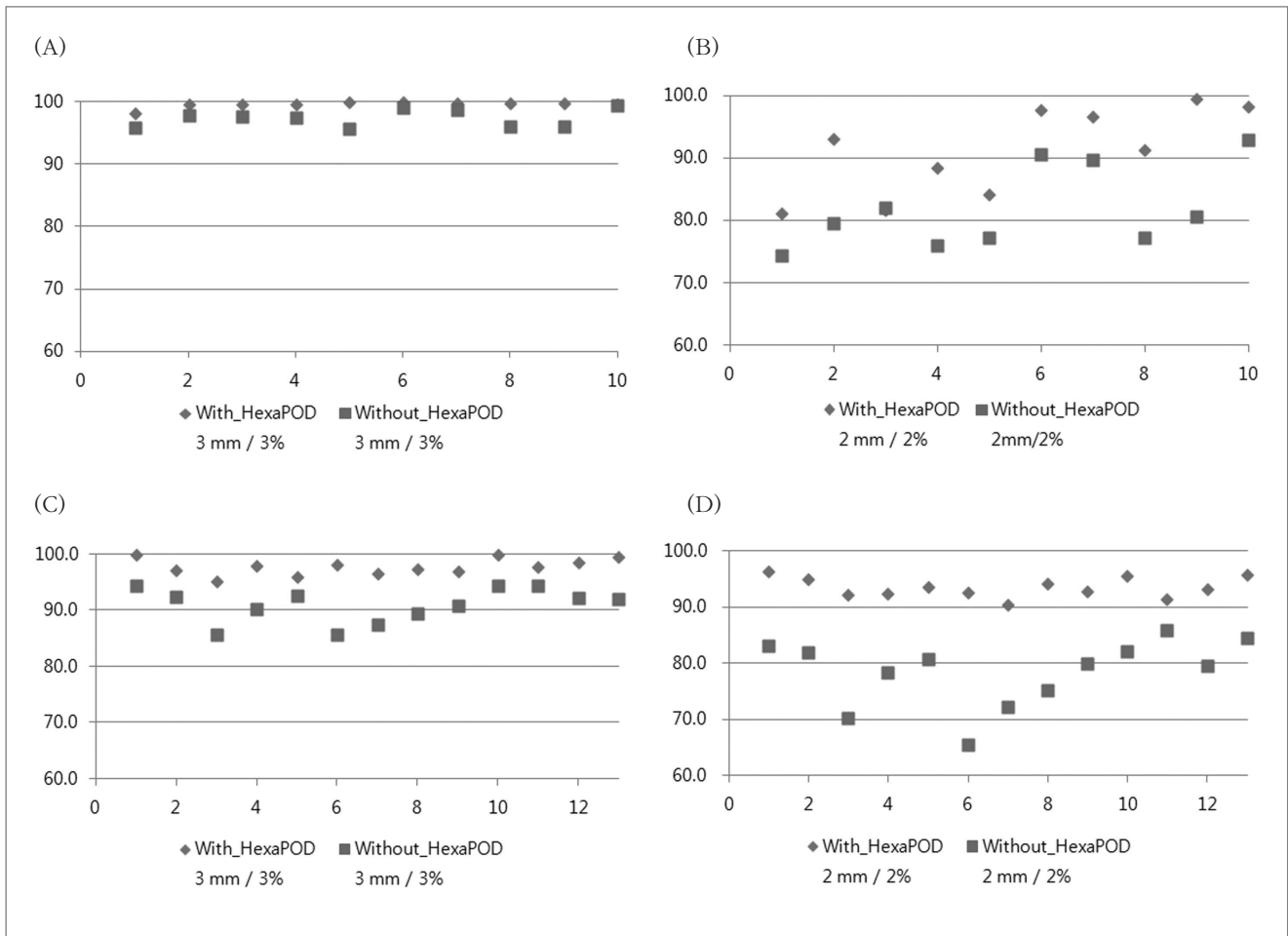


Fig 4. The results of ratio which gamma index $\gamma < 1$ in each cases, (a) coplanar($\gamma=3$ mm/3%) (b) coplanar($\gamma=2$ mm/2%) (c) non-coplanar($\gamma=3$ mm/3%) (d) non-coplanar ($\gamma=2$ mm/2%)

도의 정도에 따라 오차 정도가 더 크게 발생하는 것으로 볼 수 있다. 또한 Gamma Criteria는 MLC의 위치, 움직임과 속도를 포함하여 전반적인 장비 QA상태, 선량측정 장비 및 방법 등 여러 가지 요인에 의해 측정결과에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다¹¹⁻¹²⁾. 이는 DTA 2 mm / Dose difference 2%의 경우 동일평면 선속 빔 및 비 동일평면 선속 빔에서 선량분포도의 표준편차가 커지는 결과를 가져온다.

도가 더욱 크게 향상되었다. 하지만 HexaPOD의 회전방향에 대한 보정 각이 3° 미만이라는 제한이 있어 만약 이를 초과한다면 환자의 재 셋업이 필요하다. 따라서 치료 시 제한되는 범위를 초과하지 않도록 환자 자세를 재현한다면 정밀한 치료를 요구하는 고 선량 방사선치료 및 특수치료 등에 있어 HexaPOD의 사용은 유용하고 효과적일 것으로 사료된다.

고 찰

HexaPOD의 사용은 비 동일평면 선속 빔에서 선량전달 정확성 및 선량분포도가 보다 개선되었다. 특히 선량분포의 경우 엄격한 Gamma Criteria에서 HexaPOD 사용 시 정확

참고문헌

1. A. Brahme, J-E. Ross, I. Lax : Solution of an integral equation encountered in rotation therapy. Phys. Med. Biol, 1982;27(10):1221-1229

2. D. Schmidhalter, M. Malthaner, Ernst J., et al : Assessment of patient setup errors in IGRT in combination with a six degrees of freedom couch. *Z. Med. Phys.* 2014;24:112-122
3. H. Chung, H. Jin, T. S. Suh, J. Palta, S. Kim : Characterization of a commercial add-on couch, HexaPOD™ 6D Robotic Treatment CouchTOP. *World congress on Medical Physics and biomedical Engineering* 2006;3(11):1945-1947
4. T. Gevaert, M. sc. Dirk Verellen, et al : Clinical Evaluation of a Robotic 6-Degree of Freedom Treatment couch for frameless Radiosurgery. *Radiat. Oncol.* 2012;83:467-474
5. J. Wilbert, M. Guckenberger, B. Polat et al : Semi-robotic 6 degree of freedom positioning for intracranial high precision radiotherapy;first phantom and clinical results. *Radiat. Oncol.* 2010;5(42):1-11
6. C. Herrmann, L. Ma, J. Wilbert, K. Baier, K. Schilling : Control of a HexaPOD treatment couch for robot-assisted radiotherapy. *Biomed tech.* 2012;57(5):333-351
7. M. Georg, M. Alber, S. Broggi, et al : Guidelines for the verification of IMRT. *ESTRO.* 2008;9
8. D. K. Manampati, R. Yaparpalvi, L. Hong, H. C. Kuo, D. Mah : Application of AAPM TG 119 to volumetric arc therapy (VMAT). *Clinical Medical Physics.* 2012;13:108-116
9. G. A. Ezzell, J. W. Burmeister, N. Dogan et al : IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report for AAPM Task Group 119. *Med. Phys.* 2009;36:5359-5373
10. S. Both, L. M. Alecu, A. R. Stan et al : A study to establish reasonable action limits for patient specific quality assurance in intensity-modulated radiation therapy. *Clinical Medical Physics.* 2007;8(2):1-8
11. V. P. Keeling, S. Ahmed, H. Jin : A comprehensive comparison study of three different planar IMRT QA techniques using MapCHECK 2. *Clinical Medical Physics.* 2013;14:222-233
12. G. Yan, C. Liu, T. A. Simon et al : On the sensitivity of patient-specific IMRT QA to MLC positioning errors. *Clinical Medical Physics.* 2009;10(1):120-128

Abstract

Evaluation of the accuracy of the HexaPOD evo RT system using Non-coplanar beams in lung cancer

Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center, Seoul, Korea

Sewuk Jang, Kangchul cho, Sangkyoo Lee, Joocho Kim, Jeonghee Cho

Purpose : The aim of this study, evaluate the accuracy of HexaPOD evo RT system using the non-coplanar beam.

Materials and Methods : 13 treatment plans are used which applied non-coplanar beams and 10 treatment plans which coplanar beams are used. the correction value what adjust to 6D couch is determined by each patient' s setup errors only rotation direction. The study executed followings, first, Applying the correction value, measure the point dose and calculate the γ -index($\gamma=3\% / 3 \text{ mm}$, $\gamma=2\% / 2 \text{ mm}$). second, acquire data as previous methods without correction by HexaPOD.

Results : For comparing the two results, we find out the more precise applying HexaPOD by point dose 0.2% in coplanar and non-coplanar. in the case of γ -index <1 ($\gamma=3\% / 3 \text{ mm}$), more precise 2.2% in coplanar and 7% in Non-coplanar. Particularly, γ -index <1 ($2\% / 2 \text{ mm}$) show the difference 9.2% in coplanar and 15.1% non-coplanar between apply HexaPOD and dose not apply HexaPOD.

Conclusion : Using the HexaPOD is more precise than without HexaPOD. It suggests that HexaPOD evo RT system is very useful for precise and high dose delivery.

Keyword : HexaPOD, Non-coplanar, 6D couch