

토모테라피를 이용한 뇌척수조사의 선량적 비교와 자세 재현성에 대한 고찰

연세암병원 방사선종양학과

이희정·김주호·이상규·윤종원·조정희

목 적: 토모테라피를 이용한 뇌척수조사가 시행된 환자를 대상으로 선량적 비교와 자세 재현성 검증을 통하여 뇌척수 조사 시 토모테라피의 유용성을 확인하고자 하였다.

대상 및 방법: 뇌척수 조사가 시행된 환자 중 토모테라피를 이용한 환자 10명을 대상으로 분석하였다. 모든 환자에 대하여 치료 전 정도 관리를 시행하였고, 매 치료 전 두경부와 치료 후 골반부에서의 Megavoltage Computed Tomography(MVCT)를 촬영하여 자세 재현성을 확인하였다. 또한 체부 측정을 시행하여 두피 선량을 확인하였으며, 토모테라피 치료계획(CT 그룹, CSI-Tomo) 외에 동일 환자를 대상으로 기존 전형적인 뇌척수 조사기법(CC 그룹, CSI-Convention)을 계획하여 선량적 차이를 비교하였다.

결 과: 전뇌에 대한 V107, V95는 CT그룹에서 0%, 97.2%, CC 그룹에서는 0.3%, 95.1%를 나타내었다. 척수부위에서는 CT그룹에서 0.2%, 89.6%, CC그룹에서 18.6%, 69.9%로 조사되었다. 정상 장기의 경우 모든 장기에서 CT그룹이 낮은 선량을 유지하였으나, 폐와 신장에서는 낮은 선량이 조사되는 체적이 증가했다. 치료 자세에 대한 검증 결과 치료 후 촬영된 MVCT 영상에서 오차는 X축에서 최대 10.2 mm, Y축에서 -8.9 mm, Z축에서 -11.9 mm을 나타내었다. 두피 선량 측정 결과 처방선량 대비 평균 67.8%의 선량이 측정되었으며 환자 별 정도 관리 결과는 점선량(<5%)과 감마 분석(90%) ($r < 1.3\%$, 3 mm)의 모든 경우에서 만족하였다.

결 론: 토모테라피를 이용한 뇌척수조사는 전신에 낮은 선량이 조사되는 체적이 증가하면서 폐와 같은 장기에서의 위해도는 다소 증가하였으나 기존의 전형적인 치료 방법에 비해 종양부위에 충분한 선량을 주는 반면 주변 정상 장기에 높은 위해를 줄 수 있는 고선량을 낮게 조사하였다. 또한 자세 재현성의 결과 치료계획 시 산정했던 여유체적을 초과하지 않아 비교적 정확한 재현성을 유지하는 한편, 두피 선량 또한 낮게 조사되는 것으로 보아 토모테라피를 이용한 뇌척수 조사는 기존의 전형적인 치료 기법의 한계를 보완할 수 있는 방법으로 유용하리라 사료된다.

▶ **핵심용어:** 뇌척수조사, 토모테라피

서 론

뇌척수조사(Craniospinal Irradiation, CSI)는 소아의 중추신경계 종양 중 가장 빈번한 질병인 수모세포종(Medulloblastoma) 뿐 아니라, 배아세포종(Germinoma), 상

의세포종(Ependy-moma)과 같이 뇌척수액을 통해 퍼지는 경향이 있는 혈액학적 종양 환자의 치료법으로서 일반적으로 수술적 종양 제거 후 항암치료와 함께 병행하는 치료법이다.⁽¹⁾

전형적인 2차원 혹은 3차원적 뇌척수조사는 선형가속기를 이용하여 대뇌조사와 척수조사를 위한 빔의 결합으로 이루어진다. 대뇌조사는 대향2문조사, 척수 조사는 후방 단일조사로 이루어지는 그러한 방법은 대뇌 조사빔과 척수 조사빔의 접합부(Junction)를 맞추어 치료되도록 조사

책임저자: 이희정, 연세암병원 방사선종양학과
서울시 서대문구 연세로 50-1
Tel: 02) 2228-4345
E-mail: heejeonglee@yuhs.ac

획을 시행하는 것이 매우 중요하다.^(2,3) 그러나 두 부위의 접합부를 맞추기 위한 치료계획을 하기 위해서 환자는 엎드린 복와위 자세(Prone position)를 오랫동안 유지해야 하는 단점이 있어왔고, 혹은 보다 용이한 턱을 높이 든 바로 누운 앙와위 자세(Supine position)를 취하는 경우 빔간의 접합부를 시각적으로 확인할 수 없다는 단점이 있었다. 뿐만 아니라 후방단일조사로 이루어지는 척수조사의 경우 척수 전체를 포함하는 상하로 긴 치료 범위를 조사함으로써 피사체의 처방점 깊이 변이에 따른 열소(Hot spot)와 냉소(Cold Spot)의 발생이 불가피하다.

토모테라피는 영상유도 및 세기변조 방사선 치료(Image-guided intensity-modulated radiotherapy) 장비로서 64개의 이중형 MLC(Binary multi-leaf collimator)를 통해 나선형 모양을 그리며 종양에는 최적의 선량 분포를 하는 동시에 정상 조직 보호가 가능한 치료법이다.⁽⁴⁾ 치료 전 Megavoltage Computed Tomography(MVCT)를 촬영하여 치료계획 영상과 비교하여 치료가 가능하고 치료 후 촬영을 통하여 치료에 대한 검증도 가능하다. 갠트리기가 회전하는 동시에 치료 테이블이 이동하면서 치료가 이루어지는 연속적인 선량 조사 방식으로 조사 범위의 환자의 위아래 방향이 긴 경우에도 치료가 가능한 장점이 있다. 뿐만 아니라 수 년 전 개발된 Dynamic Jaw가 상용화됨에 따라 종양의 위, 아래쪽에 위치한 정상 조직에 들어가는 불필요한 선량을 제거할 수 있었고, 그에 따라 보다 큰 조사면을 사용하여 치료 시간 또한 단축이 가능하게 되었다.⁽⁵⁾

이에 본 연구에서는 토모테라피를 이용하여 뇌척수조사가 시행된 환자를 대상으로 뇌척수 조사 시 종양부위와 정상조직의 선량적 특성을 확인하고, 치료 간 자세 재현성을 분석하여 적절한 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)을 제안하고자 하였다. 뿐만 아니라 기존의 3차원적 빔 결합 방식의 치료계획을 추가로 시행하여 두 방법간의 선량적 차이를 비교하였고, 토모테라피에서 다중 입사빔에 따른 두경부의 선량감소를 확인하기 위해 실제 체부측정(In-vivo Dosimetry)을 시행하여 뇌척수조사 시 토모테라피의 유용성을 고찰하고자 하였다.

대상 및 방법

1) Simulation

본원에서 토모테라피를 통해 CSI 치료를 받은 환자 10명을 대상으로 하였다. 진정(Sedation)이 필요한 소아 환자의 경우 진정 상태에서 치료하였다

전산화단층촬영장치(Sensation open, Siemens.co, NED)를 이용하여 5 mm의 단면두께로 모의 치료 영상을 획득하였으며, 환자는 바로 누운 앙와위 자세로 BlueBAG을 사용하여 자세를 고정하고 열가소성 마스크를 사용해 얼굴을 고정하였다.

2) 치료계획 및 치료

뇌척수조사의 조사부위는 4개로 분할하여 전뇌부, 경추부, 흉추부 그리고 요추부로 구분하였다. 두개골 안쪽의 뇌 실질과 척추관내의 실질 모두를 원발종양체적(Gross Tumor Volume, GTV)으로 정의하였고 GTV를 포함하고 각각 0.3 cm의 추가 margin을 더하여 임상적표적체적(Clinical Target Volume, CTV)으로 설정하였다. 각 부위별 CTV는 환자 위치잡이 시 오차 가능성을 고려하여 치료계획 표적 체적(Planning Target Volume, PTV)을 각각 따로 추가 설정하였다. 치료 전 MVCT 영상으로 확인이 가능한 전뇌부는 0.3 cm, 경추부는 0.5 cm, 흉추부는 0.7 cm의 추가적인 PTV 용적을 설정하였으며 마지막으로 치료 후 MVCT가 재 촬영되는 요추부는 1.0 cm의 PTV 용적을 설정하였다.

대상 환자는 대부분 전뇌와 척수에 동일한 선량을 조사하였으나 수술요법이 미시행되었거나 수술 시 제거되지 못한 종양이 잔존하는 환자의 경우 추가적인 선량을 보완하였다 (Simultaneous Integral Boost, SIB). 치료계획은 Tomotherapy Planning system HI-Art ver. 2.1을 이용하여 5.054 cm의 좌면(Field Width)과 0.43의 Pitch를 사용하였다. 장비에 따라 Dynamic Jaw와 Fixed Jaw를 병행하였다. 치료계획 시 치료부위의 앞쪽 복부와 폐부에 선량이 들어가는 것을 방지하기 위하여 가상의 선량제한 용적(Shell)을 설정하였다. 또한 영상내의 부분적인 결손 혹은 치료 중 이격으로 인한 선량적 불확정성을 감안하여 양측 팔을 향해 입사되는 빔은 제한하였다. 치료 계획 시 고

려하는 정상 조직의 대상은 전체 장기로서 모든 장기에 대하여 선량 제한(Constraint)을 하였으며 이는 약 40~50 세트에 해당한다.

치료 시에는 치료 전, 후로 MVCT 촬영을 진행하였다. 치료 전에는 안구부터 경추까지 MVCT촬영 영역을 설정하여 치료계획 영상과 영상 교합하여 위치를 교정한 후 치료를 진행하였고 치료 후에 T12~L4 Spine에 대하여 다시 한번 MVCT 촬영을 하여 두정부를 기준으로 교정한 값 대비 체부의 변동을 확인하였다.

3) Delivery Quality Assurance(DQA) 및 In-vivo 측정
치료계획에 대한 선량검증을 위해 치료 전 DQA를 시행하였다. DQA는 모든 환자를 대상으로 첫 치료를 시작하기 전에 시행하였으며, cheese 팬텀을 이용하여 팬텀 내에 이온 챔버를 꽂아 점선량을 측정하고(Fig. 1), Gafchromic EBT3(External Beam Therapy 3, 이하 EBT3) 필름을 삽입하여 필름 분석을 통해 감마값을 측정하였다(Fig. 1). 선량 검증 결과 얻어진 점선량은 DQA 계획을 통해 계산된 점선량과 오차가 $\pm 5\%$ 이내이고 3 mm/3 %를 기준으로 하는 감마값은 ($r < 1$) 최소 90 % 이상 이어야 치료가 가능하도록 규정하였다.

또한 토모테라피의 다중 빔 입사로 인한 두피의 선량 감소를 확인하기 위하여 체내 측정을 시행하였다. 측정은 첫 치료 시 EBT3 필름 혹은 광자극발광선량계(Optically stimulated luminescent dosimeter, OSLD)를 환자 두

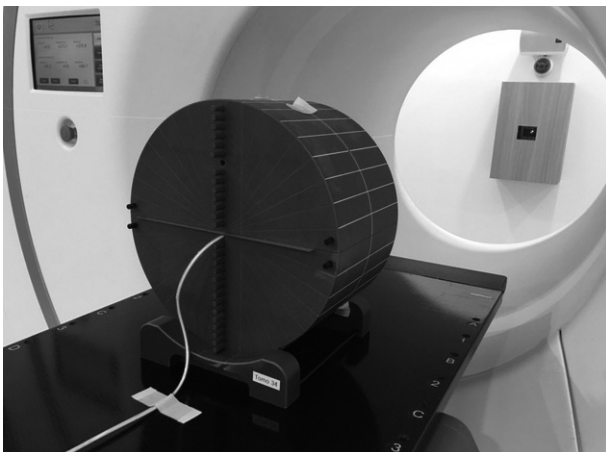


Fig. 1. Procedure of delivery quality assurance using cheese phantom, EBT3 film and ion chamber

피의 전두부(Forehead), 후두부(Posterior), 양측두부(Bi-Lateral) 각각 2부위, 그리고 두정부(Vertex)의 총 7곳에 부착하여 두피에 들어가는 선량을 확인하였다.

결 과

1. 선량적 분석

선량적 결과에 대한 분석이 용이하도록 동일한 환자에 대하여 같은 치료계획영상에 기존의 3차원적 빔 결할 방식(3D Convention) 치료계획을 수립하여 두 수치를 비교하였다. 비교 대상 수치들은 치료부위의 경우 Conformity와 Homogeneity를 판단할 수 있는 V107, V95, V90의 값으로 하였으며, 정상 조직의 경우 각 장기 별 특성에 따라 고려해야 할 지표에 해당하는 값을 선택적으로 비교하였다.

뇌에 대한 V107, V95, V90은 토모테라피에서 0%, 97.2%, 98.8%가 나타났으며, 3D Convention에서는 0.3%, 95.1%, 97.6%가 나타났다(Fig. 2). 척수에 대한 V107, V95, V90 경우 토모테라피에서 0.2%, 89.6%, 96%가 나타났으며 3D Convention에서는 18.6%, 69.9%, 85.7%가 나타났다(Fig. 2, Table 1).

수정체의 Dmax는 토모테라피에서 5.8 Gy, 3D Convention에서 9.1 Gy가 나타났으며, 눈의 경우 D20%는 토모테라피가 63.2%, 3D Convention이 70.2%였지만 평균선량의 경우 토모테라피가 처방선량의 43.4%, 3D Convention이 38.9%로 나타났다. 시각경로와 식도의 경우 최대선량이 토모테라피에서 104.5%, 54.6%, 3D Convention에서 102.3%, 88.8%로 시각경로에서는 큰 차이가 없었지만 식도의 경우 토모테라피에서 최대선량이 낮게 나타났다. 턱관절과 달팽이관, 귀밑샘, 갑상선의 경우도 평균선량을 비교했을 때 토모테라피에서는 처방선량의 62%, 90.3%, 32%, 37.4%이었으며 3D Convention에서는 처방선량의 97.7%, 97.9%, 90.4%, 67.9%로 토모테라피에서 적은 선량이 들어가는 것을 알 수 있었다. 반면에 턱밑샘과 신장에서는 토모테라피의 평균선량이 처방선량의 27%, 33.9%, 3D Convention은 16.2%, 10.5%로 토모테라피에서 더 높게 나타났다. 심장에서는 토모테라피에서 처방선량의 20%가 들어가는 선량이 처방선량

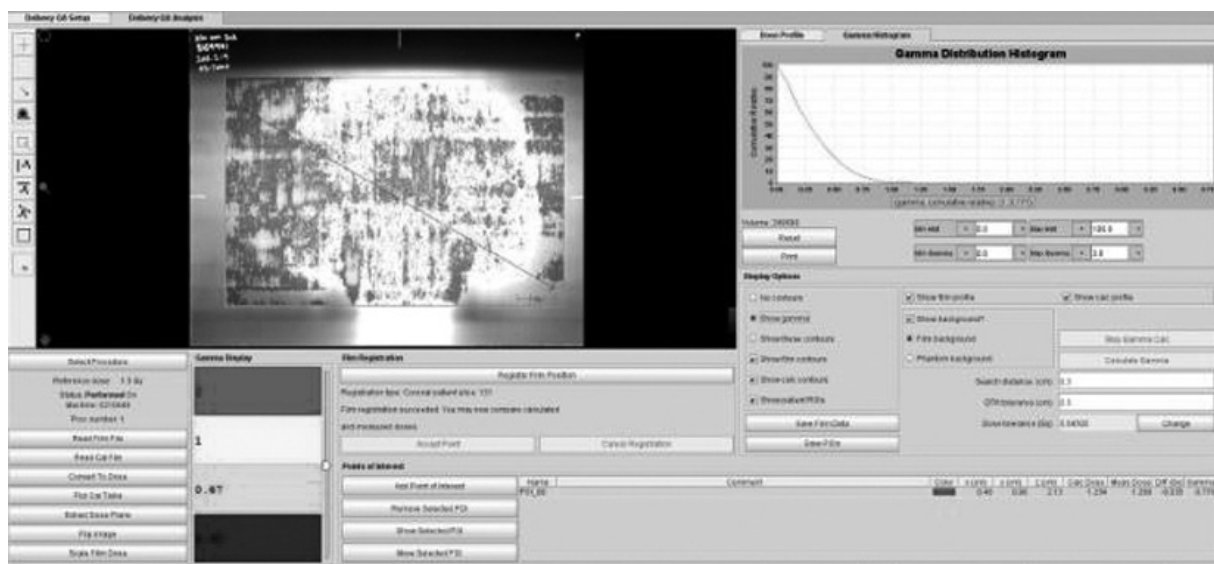


Fig. 2. Analysis of Gamma value using Tomotherapy software (DQA Station)

Table 1. Dosimetric Results of targets using Tomotherapy and 3D-CRT

Target	Value	TOMO	3D Convention	p value
PTV_brain	V107.0 % Rx	0 ± 0,1	0,3 ± 0,4	NS
	V95 % Rx	97,2 ± 1,9	95,1 ± 3,7	NS
	V90 % Rx	98,8 ± 1,1	97,6 ± 2,8	NS
PTV_spine	V107.0 % Rx	0,2 ± 0,1	18,6 ± 6,3	p<0,01
	V95 % Rx	89,6 ± 4,4	69,9 ± 5,9	p<0,01
	V90 % Rx	96 ± 2,8	85,7 ± 4,9	p<0,01

의 23.4 %가 되었고, 3D Convention에서는 64.8 %가 되었다. 저선량과 평균선량에 민감한 장기에 해당하는 폐에 있어서는 처방선량 대비 50 %, 25 %, 15 %가 들어가는 체적과 5 Gy, 10 Gy, 20 Gy가 들어가는 체적을 각각 분석하였다. 먼저 토모테라피와 3D Convention에서 처방선량의 50 %가 들어가는 체적은 각각 전체 폐 용적의 7.8 %, 9.5 %로 큰 차이가 없었지만 25 %와 15 %가 들어가는 체적의 경우 토모테라피에서 44.4 %, 81.2 %, 3D Convention에서 13.7 %, 16.8 %로 차이가 나타났다. 마찬가지로 토모테라피와 3D convention에서 20 Gy가 들어가는 폐의 용적은 전체 폐 용적의 3.3 %, 4.6 %로 두 치료계획 간의 큰 차이는 없었지만 저선량영역인 5 Gy, 10 Gy가 들어가는 체적을 비교했을 때 토모테라피에서는 68.2 %, 23.7 %, 3D Convention에서는 15.8 %, 11.5 %로 큰 차이를 보였다. 간의 경우 100 cc

에 들어가는 선량을 비교했을 때 토모테라피에서 34.4 %, 3D Convention에서 68.4 %로 토모테라피에서 적게 나타났지만 평균선량의 경우 각각 21.9 %, 19.4 %로 토모테라피에서 약간 높게 나타났다. 장의 경우 10 cc에 들어가는 선량이 토모테라피에서는 처방선량의 65.1 %, 3D Convention에서는 110.9 %로 나타났다(Table 2).

2. Set-up Verification 분석

모든 환자에 대하여 치료 전후로 MVCT를 촬영하고 좌우(X), 상하(Y), 전후(Z) 방향의 교정값을 매 치료 시 기록하였다. 위치잡이에 대한 오차 분석은 각 축 별 평균 및 최대값, 최소값, 사분 범위를 반영한 상자도표로 나타내었다 (Fig. 3).

또한 5 % 절사범위(Trimmed range)에서의 하한값 (Lower trimmed value, LTV)과 상한값(Upper trimmed value, UTV)을 추출하였다. X축의 경우 평균 0.65 mm, 최대값 10.2 mm, 최소값 -8 mm, UTV 6.7 mm, LTV -5.1 mm, 사분범위는 5.7 mm가 나타났다. Y축의 경우 평균 -0.74 mm, 최대값 8.5 mm, 최소값 -8.9 mm, UTV 3.9 mm, LTV -6.7 mm, 사분범위는 3.1 mm가 나타났다. Z축의 경우 평균 0.65 mm, 최대값 8.3 mm, 최소값 -11.9 mm, UTV 5.5 mm, LTV -7.2 mm, 사분범위는 5.1 mm가 나타났다(Table 3).

Table 2. Dosimetric Results of normal organs using Tomotherapy and 3D-CRT

Organ	Value	TOMO	Convention	p value
Both lens	max	5,8 ± 2,1	9,1 ± 11,9	NS
Both eye	D20 %	63,2 ± 3,2	70,2 ± 25,4	NS
	mean	43,4 ± 2,6	38,9 ± 18,7	NS
Optic pathway	max	104,5 ± 0,9	102,3 ± 1,6	p<0,01
Both T-M Joint	mean	62 ± 2,7	97,7 ± 1,9	p<0,01
Both cochlea	mean	90,3 ± 5	97,9 ± 1,4	p<0,01
Both parotid	mean	32 ± 1,7	90,4 ± 5,4	p<0,01
Both SMG	mean	27 ± 1,3	16,2 ± 6	p<0,01
Thyroid	mean	37,4 ± 2,3	67,9 ± 4,1	p<0,01
Esophagus	max	54,6 ± 3,9	88,8 ± 7,7	p<0,01
	D10 cc	39,7 ± 4	78,6 ± 1,6	p<0,01
Heart	D20 %	23,4 ± 3,8	64,8 ± 5	p<0,01
Lung	V50 % of Rx	7,8 ± 5,4	9,5 ± 3,4	NS
	V25 % of Rx	44,4 ± 13,2	13,7 ± 3,7	p<0,01
	V15 % of Rx	81,2 ± 7,7	16,8 ± 4,2	p<0,01
	V5 Gy	68,2 ± 24	15,8 ± 3,8	p<0,01
	V10 Gy	23,7 ± 14,5	11,5 ± 3,3	NS
	V20 Gy	3 ± 3	4,6 ± 4,1	NS
	mean	27,2 ± 4,8	12,2 ± 2,6	p<0,01
Liver	D100cc	34,4 ± 3,4	68,4 ± 1,8	p<0,01
	mean	21,9 ± 2,8	19,4 ± 2,8	p<0,01
Both kidney	mean	33,9 ± 5,5	10,5 ± 4,7	p<0,01
Bowels	D10 cc	65,1 ± 11,1	110,9 ± 8	p<0,01

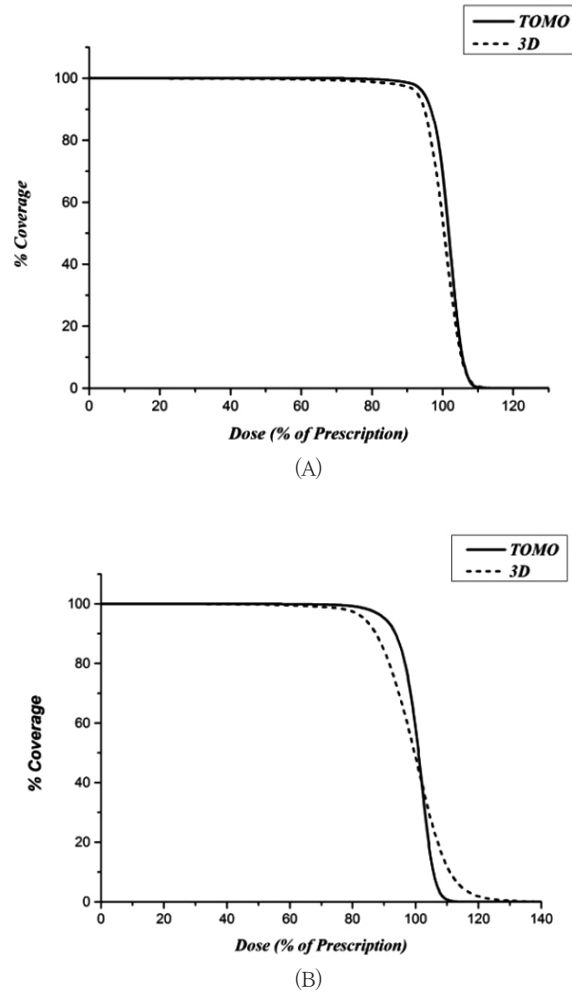


Fig. 3. Dose Volume Histogram: brain (a) and spine (b)

Table 3. Mean, Maximum, Minimum, Trimmed value(lower, upper), Interquartile range for each axis

(mm)	Mean	Max	Min	Trimmed value (5 %, Lower)	Trimmed value (95 %, Upper)	Interquartile range (IQR)
X	0,65 ± 3,6	10,2	-8	-5,1	6,7	5,7
Y	-0,74 ± 3	8,5	-8,9	-6,7	3,9	3,1
Z	0,65 ± 3,7	8,3	-11,9	-7,2	5,5	5,1

3. 선량적 검증(Delivery Quality Assurance, In-vivo Dosimetry)

각 환자의 점선량의 오차의 경우 최대 3.56 %, 최소 -0.72 %, 평균은 1.066 %가 나타났다. 감마치 통과율의 경우 최대 99.99 %, 최소 94.13 %, 평균 통과율은 98.95 %가 나타났다(Fig. 4).

또한 OSLD, EBT3 Film을 통하여 측정된 두피선량에 대하여 처방선량에 대한 Dpres(%)의 경우 전두부(Anterior)에서는 처방선량 대비 평균 77.5 % 양측두부(Lateral)에서는 72.2 % 후두부(Posterior)에서는 72.1 %, 두정부(Vertex)에서는 49.4 %가 나타났다(Fig. 5).

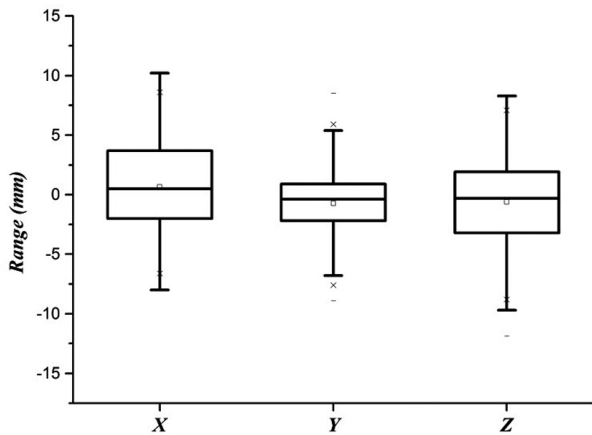


Fig. 4. Variation of set-up registration for each axis (X, Y, Z)

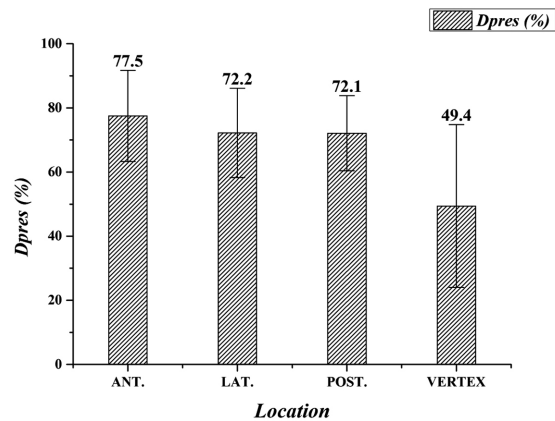


Fig. 6. Result of in-vivo Dosimetry for Scalp location. (Percentage of Prescription Dose)

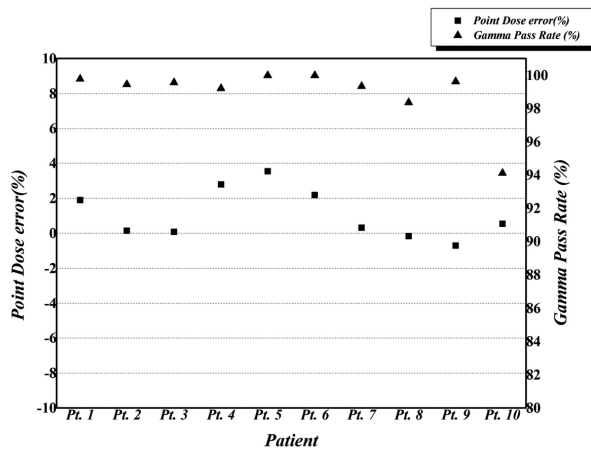


Fig. 5. Result of Delivery Quality Assurance for each patient: Point Dose error (Left) and Gamma Pass rate (Right)

고안 및 결론

선량적 결과를 보면 조사 부위에 대해 토모테라피가 Coverage, Uniformity, Conformity 모든 부분에 있어 우수하다는 것을 알 수 있었다. 정상조직 중에서 저선량에 민감한 장기인 폐, 신장과 같은 경우 3D Convention 치료에서 선량이 적게 들어가는 것을 알 수 있었다. 이것은 토모테라피의 나선형 빔 전달 방식으로 인하여 높은 누적선량이 발생했기 때문으로 보여진다. 하지만 수정체, 턱밑샘, 식도, 턱관절, 갑상선과 같이 고선량 위험 장기와 용적이 작은 정상조직에 있어서는 토모테라피가 우수한 결과를 보

여주었다. 이는 세기변조치료계획을 통한 빔 제약으로 인한 것으로 보인다. 따라서 조사 부위와 각 정상장기에 대한 Trade-off를 통하여 치료 방식을 결정하고 치료계획을 수립하는 것이 중요할 것이다.

토모테라피의 이용한 뇌척수조사의 평균 치료시간은 608.6초로서 일반적인 방사선 치료 시간에 비해 길고 치료 전, 후 MVCT 영상을 획득하는 것 또한 약 5분의 시간이 걸리므로 환자의 협조와 함께 정확한 위치잡이가 매우 중요하다. 위치잡이의 정확성을 높여주기 위해 치료 전 모의 조준실에서 투시 장비를 이용하여 위치 확인 작업을 시행하였다. 특히 긴 치료범위를 감안하여 상하방향으로의 위치잡이에 유의하며 환자 전신에 중심선을 그려주었다. 치료 전 MVCT 촬영에 있어서 치료 부위 전체를 촬영하는 것은 시간적인 기대효과가 낮기 때문에 본원에서는 치료 전 두경부의 MVCT 영상만을 획득한 후 이를 기준으로 조사부위 교정을 하여 치료를 진행한다. 치료 종료 후 후향적으로 체부의 MVCT 영상을 획득하여 두경부를 기준으로 교정하여 치료를 진행한 X, Y, Z 축의 수치 대비 체부의 변동치를 확인함으로써 치료가 정확하게 진행 되었는지에 대한 안정성을 확보하고 있다. 두경부를 기준으로 조사부위 교정이 진행되기 때문에 아래쪽 조사부위로 갈수록 오차의 확률이 커질 것을 예상하여 치료계획용적을 여유 있게 주고 있다. 대부분의 환자의 경우 두경부를 기준으로 교정한 값 대비 체부의 변동치가 10 mm 이하로 치료 종료까지 유지되었지만 변동폭이 큰 환자에 대해서는 모의치료를 재

시행(Re-Simulation)하여 치료를 진행하였다. 재 시행한 모의치료로 치료하였을 때 오차범위는 10 mm 이하의 안정적 범위로 나타났다. 또한 마취를 하지 않은 소아 환자, 진정 중 깨어난 환자, 장시간 자세유지가 힘든 환자의 경우에서 교정 및 변동값이 상대적으로 크게 나타났다. 실제로 본 논문에서 두정부 기준 교정값 대비 체부의 변동을 확인했을 때 1명의 환자를 제외하고는 모든 환자에서 10 mm 이하의 오차가 나타났기 때문에 두정부를 기준으로 치료했을 때 체부에 대한 10 mm의 여유체적은 충분한 것으로 사료된다.

선량적 검증 과정 중 DQA는 토모테라피 치료계획 시스템으로 수립한 치료계획이 실제 치료 시에도 정확하게 들어간다는 안정성을 확보해주었다. 모든 환자에 대하여 TG-148에서 권고하는 점선량 5 % 이내, 감마치 3 mm/3 %에서의 90 % 통과율 안에 들어온 것을 알 수 있었다. 다만 TG-148에서는 측정된 점선량이 DQA 치료계획을 통해 계산된 점선량과 3 % 이상 5 % 이하의 선량 차이가 있을 경우 차이에 대한 오차 원인을 조사하는 것을 권고하고 있다.⁶⁾ 일반적으로 DQA 치료계획 시 선량이 급격하게 변하는 위치에 이온챔버의 위치를 잡은 경우 점선량의 차이가 상대적으로 크게 나타나는 경향을 보였다. 또한 OSLD와 EBT3 필름을 통한 두피선량 측정의 결과치를 통해 두피 선량 또한 낮게 조사되는 것을 알 수 있었다. 특히 두정부의 선량이 상대적으로 낮게 나온 환자의 경우 토모테라피 Edge mode로 치료계획 및 치료를 시행한 환자였다. Edge mode는 Dynamic Jaw를 이용한 치료법으로서 이로 인하여 조사범위 시작 부분에 해당하는 두정부의 선량이 낮아진 것으로 보인다.

토모테라피를 이용한 뇌척수조사는 전신에 낮은 선량이 조사되는 체적이 증가하면서 폐와 신장과 같은 장기에서의 위해도는 다소 증가하였으나 기존의 3D Convention 치료에 비해 종양 부위에 충분한 선량을 주면서 주변 정상장기에 높은 위해를 줄 수 있는 고선량을 낮게 조사하는 장점이 있다. 또한 세기변조를 통한 추가적인 선량보완이 가능하고 갠트리가 회전하는 동시에 치료 테이블이 이동하는 치료방식으로 기존 3D Convention 치료에 있었던 빔간의 접합부의 문제와 불가피한 열소와 냉소의 발생을 적게 해주는 유용성이 인정되고 있다. 이뿐만 아니라 토모테라피

의 경우 Junction 문제를 해결함으로써 환자가 편안한 자세로 치료를 받을 수 있다는 장점이 있다. 자세재현성의 결과는 치료계획 시 산정했던 여유체적을 초과하지 않아 비교적 정확한 재현성을 유지하는 것을 알 수 있었다. 선량적 검증을 통해서도 치료계획 시 계산된 선량이 정확하게 전달되는 것을 알 수 있었고 체부 측정을 통해 두피선량 감소도 기대할 수 있었다. 따라서 토모테라피를 이용한 뇌척수조사는 기존 3D Convention 치료의 한계를 보완할 수 있는 방법으로 유용하리라 사료된다.

참고문헌

1. Sanziana R.I., Schiopu, Gregor Habl, Matthias Häfner et al.: Craniospinal irradiation using helical tomotherapy for central nervous system tumors, *Journal of Radiation Research* 2017; 58:238-246
2. Griffin TW, Schumacher D, Berry HC.: A technique for cranial-spinal irradiation. *Br J Radiol.* 1976; 49(586):887-8
3. Werner BL1, Khan FM, Sharma SC et al.: Border separation for adjacent orthogonal fields. *Med Dosim.* 1991; 16(2):79-84
4. Yi Rong, James S Welsh: Dosimetric and clinical review of helical tomotherapy. *Expert Review of Anticancer Therapy* 2011; 11(2), 309-320
5. Yi Rong, Yu Chen, Lu Shang et al.: Helical tomotherapy with dynamic running-start-stop delivery compared to conventional tomotherapy delivery. *Medical Physics* 2014; 41(5):051709-1-11
6. Langen KM, Papanikolaou N, Balog J et al.: QA for helical tomotherapy: report of the AAPM Task Group 148. *Med Phys.* 2010; 37(9):4817-53

A study on dosimetric comparison of craniospinal irradiation using tomotherapy and reproducibility of position

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

Heejeong Lee, Jooho Kim, Sangkyu Lee, Jongwon Yoon, Jeonghee Cho

Purpose: The purpose of this study was to verify dosimetric results and reproducibility of position during craniospinal irradiation (CSI) using tomotherapy (Accuray Incorporated, USA). Also, by comparing with conventional CSI Technique, we confirmed the efficiency of using a Tomotherapy.

Materials and Methods: 10 CSI patients who get tomotherapy participate. Patient-specific quality assurances (QA) for each patient are conducted before treatment. When treating, we took Megavoltage Computed Tomography (MVCT) that range of head and neck before treatment, L spine area after treatment. Also we conducted in-vivo dosimetry to check a scalp dose. Finally, we made a 3D conventional radiation therapy(3D-CRT) of those patients to compare dosimetric differences with tomotherapy treatment planning.

Results: V107, V95 of brain is 0 %, 97.2 % in tomotherapy, and 0.3 %, 95.1 % in 3D-CRT. In spine, value of V107, V95 is 0.2 %, 18.6 % in tomotherapy and 89.6 %, 69.9 % in 3D-CRT. Except kidney and lung, tomotherapy reduced normal organ doses than 3D-CRT. The maximum positioning error value of X, Y, Z was 10.2 mm, -8.9 mm, -11.9 mm. Through in-vivo dosimetry, the average of scalp dose was 67.8 % of prescription dose. All patient-specific QA were passed by tolerance value.

Conclusion: CSI using tomotherapy had a risk of parallel organ such as lung and kidney because of integral dose in low dose area. However, it demonstrated dosimetric superiority at a target and saved normal organ to reduce high dose. Also results of reproducibility were not exceeded margins that estimated treatment planning and in-vivo dosimetry showed to reduce scalp dose. Therefore, CSI using tomotherapy is considered to efficient method to make up for 3D-CRT.

▶ **Key words:** Craniospinal Irradiation, Tomotherapy