

## 입체조준장치를 이용한 중추신경계의 방사선 입체조형치료 계획

연세대학교 의과대학 방사선종양학교실

추성실 · 조광환 · 이창길

**목 적 :** 척수에 전이가 가능한 뇌종양 치료를 위한 두개척수 방사선치료를 전산화단층촬영장치(volumetric spiral CT)와 입체조준장치(CT simulator) 및 3차원 조형치료계획장치(3D conformal planning system)를 이용한 두개척수 방사선치료계획 방법을 개발하고 기하학적 검증을 통하여 유용성과 정확성을 평가 한다.

**방 법 :** 연세암센터 방사선종양학과에서 두개척수 방사선치료를 받은 환자 11명을 대상으로 전산화 단층촬영을 이용한 입체 모의치료계획과 3차원 방사선조형치료를 시행하였다. 중증의 뇌종양 환자의 두경부는 두부고정틀(thermoplastic mask, Aquaplast<sup>®</sup>)로 고정시키고, 전신은 Vac-Loc<sup>®</sup> (전성물산, 한국)으로 고정한 후 전산화단층촬영장치(Spiral CT)를 이용하여 전신체적영상(volumetric image)을 얻었다. 환자 자세의 재현성 확인 및 검증을 위해 두부에 세 개의 점과 전신에 기준선 및 기준점 등을 표시하였다. 이후 입체조준장치(CT-simulator)의 가상현실영상(virtual fluoroscopy)에서 인체의 크기와 방향에 제약이 없고 치료 침대와 고정기구에 대한 시각장애를 제거함으로써 자유롭게 모의치료를 할 수 있었으며, 조사면과 선속을 결정하고 디지털화재구성사진(digitally reconstructed radiography, DRR)과 디지털화합성사진(digitally composited radiography, DCR)을 통하여 분해능이 좋은 화질의 투시 및 모의치료영상을 획득하였다. 기하학적 검증은 치료중심점 이동시 얻은 모의치료영상과 첫 치료 시에 얻은 조사면 검증 사진(port verification film) 등을 전산화단층촬영영상으로부터 재구성한 DRR 영상과 시각적, 정량적으로 비교, 분석하였다.

**결 론 :** 입체조준장치와 3차원 방사선치료계획 장치 등을 이용하여 두개척수 방사선 치료계획을 신속하고 정확하게 원활히 수행할 수 있었다. 가상현실영상에서 대부분의 설계작업이 이루어지므로 환자의 자세고정을 요하는 시간은 전신체적 영상을 얻는 10분 이내이므로 환자의 불편을 줄일 수 있을 뿐 아니라 모의치료과정 중의 체위 변동 변수를 제거할 수 있었다. 또한 전산화단층촬영영상을 얻음으로써 중요정상조직인 안구, 척수 등을 정확하게 설정할 수 있었고, 조사면 결정과 차폐의 정확성을 증진시킬 수 있었다. 환자자세오차는 디지털화재구성사진과 치료 시마다 얻은 포트필름에서 치료중심점과 척수 사이의 거리를 측정하여 3 mm 이내의 정확성을 얻을 수 있었다. CT조준장치를 이용한 중추신경계의 방사선 입체조형치료는 가상현실모의치료계획으로 두개척수의 방사선치료를 정확하고 용이하게 실현할 수 있었다.

**중심단어 :** 두개척수 방사선치료(craniospinal irradiation, CSI), 중추신경계(central nervous system, CNS), 전산화단층촬영장치(volumetric spiral CT), 입체 모의치료장치(CT simulator), 3차원 조형치료계획장치(3D conformal planning system)

### 서 론

뇌종양을 포함한 중추신경계(central nervous system, CNS)의 방사선 치료는 두개척수 방사선치료(craniospinal

irradiation, CSI)가 필요하며 이 방법은 두개척수를 포함하는 복잡하고 위험한 방사선 치료방법이다. 이 방법은 medulloblastoma, CNS leukemia, germ cell tumors, high grade ependymomas, multicentric CNS lymphomas에 매우 효과적인 치료방법이지만 이들은 위험한 부위를 포함하고 있기 때문에 정확한 치료계획과 시행이 이들 종양치료에 매우 중요하다.<sup>1-6)</sup>

이 논문은 2003년 5월 19일 접수하여, 2003년 6월 9일 채택됨.  
본 연구는 연세대학교 학술연구비(2000-1-0206)지원으로 수행되었음.

두개척수 방사선치료는 척수의 해부학적 위치 때문에 옆드린 자세에서 두부와 경추부는 양측면 대향조사로, 흉추와 요추, 천추관은 단일 후방 조사하는 것이 일반적인 방법이다.<sup>1-3)</sup> 두개척수의 방사선치료계획을 위하여 엑스선 투시촬영

책임저자: 추성실, (120-752) 서울 서대문구 신촌동 134번지  
연세대학교 의과대학 방사선종양학과  
Tel : 02)361-7646, Fax : 02)312-9033  
E-mail : sschu@yumc.yonsei.ac.kr

을 통한 재래식 조준방식(conventional simulation)은 방사선투시를 통하여 일일이 중심축과 조사면을 구성하고 조절하는 동안 환자는(엎드린 상태에서) 장시간 부동자세를 유지하여야 함으로 치료 설계에 매우 불편하며 불확실성이 크다.<sup>7)</sup>

특히 대부분의 환자가 소아여서 협조성(cooperation)이 떨어지고 엎드린 자세로 오랜 시간 부동자세를 취하기가 어렵기 때문에 여러 차례 사진을 찍어야 하는 기존의 2차원 조준장치로는 순조롭게 진행하기 쉽지 않으며 방사선치료의 정확성도 떨어질 수 있기 때문에 마취나 진정(sedation)이 요구되는 경우가 많아서 치료진에게는 상당히 부담이 된다.

입체조준장치(CT Simulator)를 이용하여 영상 획득 후 치료계획을 수행할 경우에는 환자 없이 치료계획을 설계(virtual simulation)함으로써 모의치료에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있고, 전산화단층촬영영상을 통하여 중요정상조직인 안구, 척수 등을 정확하게 확인하고 조사면 결정과 차폐의 정확성을 증진시킬 수 있다.<sup>8-11)</sup> 본 연구에서는 전산화단층촬영영가와 입체조준장치 및 3차원 방사선조형치료계획장치(3D-CRT) 등을 이용하여 두개척수 방사선치료를 계획하는 방법을 개발하였다. 그러나 뇌를 포함하는 중추신경계의 방사선치료는 각각 다른 변형된 조사면을 각각 다른 방향에서 접속시켜야하는 매우 복잡한 방법으로서 기존의 조준계획으로서 정확한 선량분포를 확인하기가 어려워 사실상 입체조형치료를 완벽히 수행할 수 없었다. 본원에 새로 도입된 Spiral CT Simulation System은 체적영상(volumetric image)을 얻을 수 있고 가상현실 치료조준(virtual simulation)과 치료계획이 가능하여 복잡하고 불가능한 치료계획을 만족하게 성취할 수 있다.<sup>12-16)</sup> 척추의 전이가 가능한 뇌종양(Medulloblastoma, CNS Leukemia, Germ cell tumors, High grade ependymomas, Multicentric CNS lymphomas 등) 치료를 위한 뇌척수 방사선치료(Craniospinal irradiation, CSI)의 복잡한 치료방법을 Volumetric spiral CT와 Virtual simulator 및 3-D Radiation treatment planning system을 이용하여 종양부위에는 집중적이고 조사면간의 겹침이 없이 균일한 선량분포를 얻었으며 건강조직에는 최대한 보호될 수 있는 방사선치료방법을 개발하여 방사선치료 성과를 향상시키고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

2002년 1월에서 2003년 5월까지 연세암센터 방사선종양학과에서 두개척수 방사선치료를 받은 환자 11명을 대상으로 하였으며 중추신경계에 재발한 백혈병(leukemia, CNS re-

lapse) 환자가 1명, 수모세포종(medulloblastoma) 환자가 8명, 생식세포종(germ cell tumor) 환자가 2명이었다. 나이는 1세에서 18세까지였다. 환자 중 자제능력이 없고 오래 지체하기가 곤란한 환자를 우선으로 전산화단층촬영 모의치료장치를 이용한 두개척수치료법을 적용하였으며 차차 전체적으로 확대 적용하였다(Table 1).

### 2. 환자자세고정기구 고안

환자자세 고정을 위해 환자는 양팔을 어깨높이에서 아래로 나란히 놓고 엎드린 배와위 상태에서 전신을 Vac-Loc<sup>®</sup> (전성물산, 한국)으로 고정하였으며 두경부는 얼굴을 아래로 하고 호흡에 지장이 없도록 이마부위를 중심으로 고정시키는 두부고정틀(thermoplastic mask, Aquaplast<sup>®</sup>)을 제작하여 두부를 고정시켰다(Fig. 1).

환자 자세의 재현성 확인 및 검증을 위해 두경부에 세 개의 점(posterior & both lateral)을 표시하고 몸에도 기준선 및 기준점 등을 표시하였다. 고정 장치 안에 환자의 몸이 항상 같은 위치에 고정될 수 있도록 어깨, 가슴, 다리에 수평 기준선을 표시하였다. 수직선을 맞추기 위하여 정중선 3 곳에 기준점을 정하고 문신하였다(Fig. 2).

### 3. 전신체적영상 획득(whole body volumetric images)

환자의 입체영상을 획득하기위하여 분해능이 좋은 Spiral CT (PICKER PQ5000, Philips, USA)를 이용하였으며 방사선의 인체작용이 정확히 적용되는 입체 전신체적영상(whole body volumetric images)을 획득하기 위하여 Spiral CT의 scan방법, pitch, revolution, thickness, index, ID point, KVp, mA, scan time 등을 조절하여 방사선치료계획에 최적한 자료를 발췌하였다.

Table 1. Patient Characteristics

No.	Age (year)	Sex	Diagnosis	Dose (Gy)	Position	Spine
1	4	Male	Mudulloblastoma	40.5	Supine	TL-Spine
2	5	Female	Mudulloblastoma	36	Supine	TL-Spine
3	5	Female	Mudulloblastoma	36	Supine	TL-Spine
4	5	Male	Leukemia	12	Supine	TL-Spine
5	6	Male	Mudulloblastoma	36	Supine	TL-Spine
6	6	Male	Mudulloblastoma	36	Prone	TL-Spine
7	6	Male	Mudulloblastoma	34.5	Supine	TL-Spine
8	8	Male	Mudulloblastoma	36	Prone	TL-Spine
9	16	Male	Germ cell tumor	21	Supine	T+L Spine
10	17	Female	Mudulloblastoma	40.5	Supine	T+L Spine
11	18	Male	Germ cell tumor	30	Supine	T+L Spine

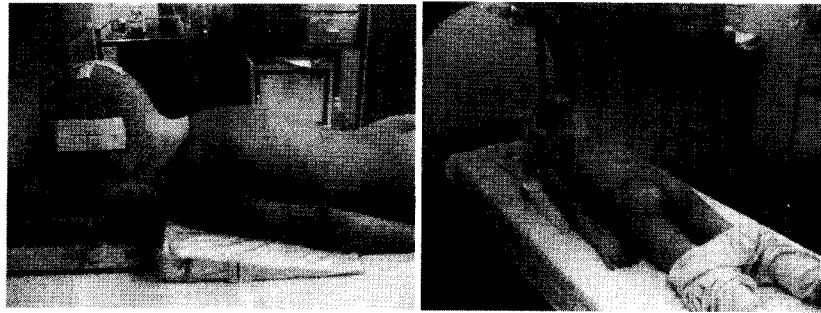


Fig. 1. Patient with a craniospinal irradiation; patient setup.

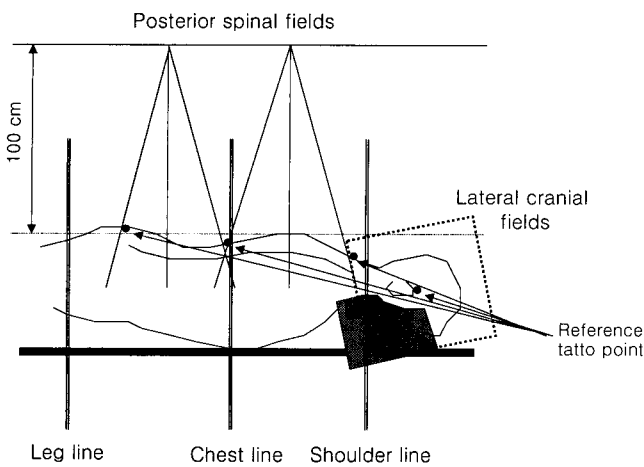


Fig. 2. Geometry of craniospinal irradiation; The isocentric, parallel-opposed lateral cranial fields, a posterior thoracic spine field and a posterior lumbar spine fields are schematically shown. The reference point and line is marked for the patient setup.

배와위 상태에서 전산화단층촬영 모의치료장치(CT-Simulator)를 이용하여 전신체적영상(volumetric image)을 얻었고 영상의 질(resolution)을 좋게 하기 위하여 3 mm 간격의 두께로 171장의 이미지를 얻었다. 이때 관심영역은 27.5 cm, 화소크기는 0.43 mm이었다. 가상현실 영상(virtual fluoroscopy)에서 모의치료를 하므로 인체의 크기와 방향에 제약이 없고, 치료테이블과 고정기구에 대한 시각장애를 제거함으로써 자유롭게 모의치료를 할 수 있었다. X-선 모의치료실에서 계획된 치료 중심점을 표시하면서 투시 영상으로 치료계획을 기하학적으로 검증하였다. 또한 첫 치료 시 조사면 검증 사진(port verification film)을 찍어서 모의치료 사진과 비교, 검토하였다.

#### 4. 가상 모의조준(Virtual Simulation)

전산화단층촬영영상으로부터 획득한 CT영상을 고성능 입체조준장치인 3차원 CT simulator (AcQ-SIM, Philips,

USA)를 이용하여 가상현실 영상으로 Digital화한 가상모의 치료(virtual simulation)를 시행하였다. 뇌를 포함하는 중추 신경계의 입체조형치료를 완벽히 수행할 수 있도록 최적 전신 체적영상(volumetric image)의 입력자료와 가상현실 모의조준장치(virtual Simulator)에 의한 중앙부위 전체를 동시에 적용할 수 있는 최적 조사면과 방향을 설정하였다.

전산화단층촬영영상으로부터 재구성한 디지털화재구성 사진(digitally reconstructed radiography, DRR)과 디지털화합성사진(digitally composited radiography, DCR) 및 입체영상(3D image)을 획득하고, DRR과 DCR을 통하여 조사면이 크므로 두개경추 조사면은 2분 측면 대향조사로, 나머지 척추 조사면 역시 두개로 나뉘서 2분 후방조사로 계획하였다.

양쪽 두개경추 조사면은 전뇌와 경추를 포함하여 어깨가 들어가지 않는 면까지 정하였다. 흉추, 요추, 천추 조사면은 37 cm가 넘지 않는 경우는 조사면을 하나로 하였고, 37 cm가 넘는 경우는 조사면을 두 개로 나누었는데 보통 흉추 조사면의 길이를 30 cm으로 하였다. 아래로는 전체 경질막(dura)를 포함하기 위하여 2번째 천추까지 연장하였는데 자기공명영상사진을 참고하여 조사면을 결정하였다.

먼저 흉추 조사면을 설정한 후 여기에 맞추어서 두개경추 조사면과 요추, 천추 조사면을 설계하였다. 양측 두개경추 조사면의 경사도(divergence)를 없애기 위하여 치료테이블을 회전시켰고, 두개경추 조사면과 흉추 조사면의 경계 부위를 일치시키기 위하여 두개경추 조사면의 콜리메이터를 돌려주었다.

치료 테이블 회전 각도와 콜리메이터 회전 각도는 입체조준장치에서 시각적으로 확인하면서 결정하였다. 흉추조사면과 요추, 천추관 조사면은 점점이 척추관의 전면에 위치하도록 설계하였다. 이러한 작업들은 가상현실영상의 MPR (multiple plane reformation) 영상에서 횡단면(axial), 시상면(sagittal), 관상면(coronal) 각각의 단면들에서 확인하였다 (Fig. 3). 치료 계획상으로는 조사면 경계 부위의 과다선량과

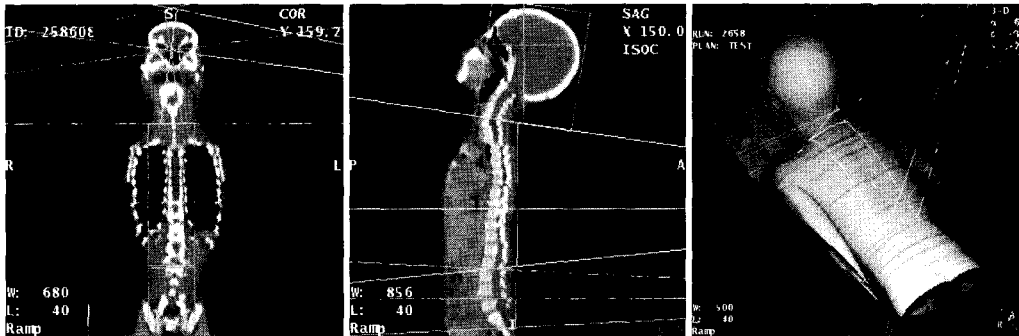


Fig. 3. Craniospinal irradiation as seen in sagittal and coronal views. Accurate matching of the cranial, thoracic spine field, and lumbar spine fields is achieved by interactive collimator and couch rotation on the virtual simulation.

과소 선량의 가능성을 제거하였지만 보다 안전한 치료를 위하여 치료 기간 중 경계면 이동(junction moving)을 하였다.

처음 시작할 때 흉추 조사면과 두개경추 조사면의 경계를 어깨가 빠지는 가장 아래쪽으로 정한 후, 위쪽 방향으로 총 선량에 따라 1 cm 간격으로 1번 내지, 2번의 이동을 실시하였다. 두개척수 방사선치료의 총 선량이 12 Gy 이하일 경우 경계이동을 시행하지 않으며, 24 Gy 이하일 경우 1번, 36 Gy 이상일 경우 2번 시행하였다.<sup>17)</sup>

가상현실 영상(virtual fluoroscopy)에서 인체의 크기와 방향에 제약 없이 최적한 조건에서 촬영할 수 있는 요령을 제시하며 DRR (digitally reconstructed radiograph)를 통하여 어떤 입체각에서도 선속방향으로(beam's eye view) 투시 및 영상사진을 획득할 수 있는 기술과 자료를 규격화하고 DCR (digitally composited radiography)를 통하여 조직 구성물질(뼈, 지방, 연조직, 뼈 등)중 필요한 부위를 부각시킬 수 있는 투명도와 밝기, W/L 등을 장기에 따라 표준화시켰다.

가상현실 조준장치(CT simulator)에 의한 종양과 주위장기의 표현과 조사면의 조정 방사선을 투입할 치료부위(PTV)를 입체적으로 표시하고 방사선 선속들의 크기, 방향 등을 서로 중첩되지 않고 주요장기를 피하면서 종양에만 집중될 수 있는 방법을 표준화하였다.

### 5 입체조형치료계획

입체조준장치(CT simulator, AcQ-SIM)에서 설계된 가상 모의 영상(virtual simulation images)들은 3차원 입체조형치료계획장치(3-D conformal radiotherapy planning system)를 이용하여 방사선의 종류, 에너지, 조사방향, 조사면 등 다양한 치료방법을 조직등가인 체적영상에 적용하여 투여 선량을 계산하였다.

종양과 정상장기에 대한 선량분포도와 입체 선량분포도(dose volume histogram)를 일일이 계산 평가하여 중추신경계의 입체조형치료를 위한 최적한 자료를 선택 표준화하였다.<sup>18)</sup>

특히 조사면들의 연결(adjacent field junction)부위에 대한 과다선량(hot point) 및 과소선량분포(cold point)의 발생 빈도와 크기를 평가하고 최적한 선량분포와 주위건강조직의 손상을 줄이는 가장 이상적인 치료방법을 확정하고 이를 평가할 수 있는 기준을 마련하였다(Table 2).

## 결 과

### 1. 치료난이도 개선

전산화단층촬영장치와 입체조준장치(CT-Simulator, CT-SIM) 및 3차원 방사선조형치료계획장치(3D Conformal Radiation Treatment Planning System, 3D-CRT) 등을 이용하여 환자에서 두개척수 방사선치료 계획을 원활히 수행할 수 있었다. 기존의 2차원 모의치료에 소요되는 시간은 약 45분 정도이나 환자의 순응도나 의료진들의 숙련도에 따라 90분 이상 소요될 수도 있다.

그러나 전산화 단층촬영모의치료장치를 이용할 경우에는 가상현실영상에서 대부분의 설계작업이 이루어지므로 환자의 자세고정을 요하는 시간은 전신체적 영상을 얻는 10분 이내 이므로 환자의 불편을 줄일 수 있을 뿐 아니라 모의치료과정 중의 체위 변동 변수를 제거할 수 있었고 전신 상태가 나쁜 환자도 쉽고 정확하게 모의치료를 수행할 수 있었다.

Fig. 3과 같이 CT-SIM을 이용함으로써 전두개와(anterior cranial fossa), 두개저(skull base), 외이도(external auditory canal), 후두개와(posterior cranial fossa) 등을 흉추, 요추, 천추관 조사면에서는 척추 윤곽(bony contour), 척

**Table 2.** Standard protocol of craniospinal irradiation (CSI) with CT-simulation

Procedure	Content
1. Patient position and immobilization	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Prone (some time supine) : PA Spine and RT/LT lateral Brain</li> <li>* Thermal plastic mask and body fix</li> <li>* Lasers positioning: Posterior and both lateral</li> </ul>
2. CT-Acquisition	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 5 mm slices through pelvis, abdomen, thorax</li> <li>* 3 mm slices through head and neck</li> <li>* whole body scan : top of head to pubis (5 cm below defined volume)</li> <li>* 120 to 200 images per study</li> </ul>
3. Virtual simulation for Cranial fields	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Orbits and anterior aspect of cribriform plates contoured</li> <li>* Isocenter at mid lateral separation at cranial markers</li> <li>* Field width set to cover skull with 2 cm margin</li> <li>* Collimator rotated to match superior divergence of spinal field</li> <li>* Verify acceptable volume of shoulder in exit of beam</li> <li>* Shield designed</li> <li>* Posterior fossa boost fields also planned</li> </ul>
4. Virtual simulation for Spinal fields	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Field length and position determined (head, thorax, pelvis) on mid sagittal image</li> <li>* Superior border on C1-C2</li> <li>* Inferior border to include adequate coverage of spinal arachnoid space</li> <li>* If two spinal fields required, junction is placed anatomically at level of cord</li> <li>* Field width set to cover vertebral bodies bilaterally by 1 cm, verified on DRR</li> </ul>
5. Field matching	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Collimator rotation(f) for brain field by PA spine field and SSD  <math>f = \arctan(1/2 \text{ length}/SSD)</math></li> <li>* Couch rotation (t) by lateral brain field and SAD  <math>t = \arctan(1/2 \text{ length}/SAD)</math></li> <li>* Moving junction on brain and upper spine fields</li> <li>* Junction moved 1 cm up and down per week (10 Gy)</li> <li>* two spinal fields, Skin junction gap calculated at level of cord  <math>g = \text{length} * \text{depth}/SAD</math></li> </ul>
6. 3D dose calculation	<ul style="list-style-type: none"> <li>* High energy photon (4 or 6 MV)</li> <li>* Cranial dose : 59.4 Gy, Spine cord dose : 36 Gy</li> <li>* Field matched volume dose distribution and DVH</li> </ul>

추백고리뿌리(pedicle) 등을 해부학적 표지자가 용이하게 구별되어 환자 자세의 좌표설정이 용이하고 정확하게 표시할 수 있다.

또한 두 조사면 처방 깊이까지의 선원-체표면간 거리(source-surface-distance, SSD)와 횡축 조사면 길이 등을 이용하여 피부에서의 적정 교차 간격(gap junction)을 가상 모니터상에서 쉽게 설계할 수 있었다.

환자자세의 재현성 및 정확성을 확인하기 위하여 모의치료실에서 확정된 치료중심점을 환자 몸과 고정틀에 표시하면서 투시로 치료면을 확인하였다. 즉 치료중심점 이동시 얻은 모의치료영상과 첫 치료 시에 얻은 포트필름 등을 전산화단층촬영 영상으로부터 재구성한 DRR 영상과 비교하여 치료중심점과 척추 사이의 거리 차이를 시각적, 정량적으로 평가하

여 평균 3 mm 이내의 정확성을 얻을 수 있었다.

피부표면에서 인접한 두 조사면의 적정 교차 간격(gap junction)은 처방 깊이까지의 선원-체표면간 거리와 횡축 조사면 길이 등을 고려한 기하학적 계산보다 정확하고 신속히 판단할 수 있었다.

## 2. 선량분포의 정확성과 선량평가의 향상

척추의 전이가 가능한 뇌종양 환자에 대한 뇌척주 방사선 치료(craniospinal irradiation, CSI)는 옆드린 자세에서 안면을 피하고 뇌 부위를 대향 2분조사하고 수직방향의 조사면으로 척추를 치료함으로 동시에 넓은 범위의 선량분포를 평가하여야한다. 특히 척추신경은 직렬반응조직(Serial architecture)으로 구성되었으므로 조사면 간의 겹침이 없이 균일한

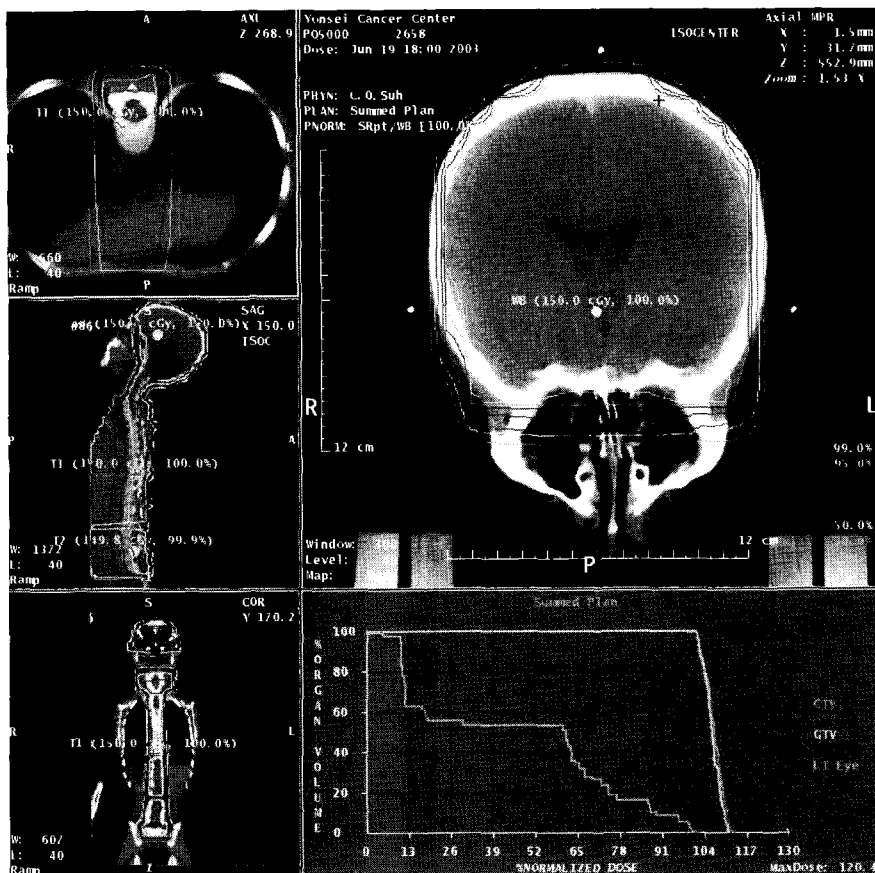


Fig. 4. Dose planning for craniospinal irradiation as seen in sagittal and coronal views. Dose volume histogram and dose distribution on junction area by two field matching.

선량분포를 유지하여야 한다.

Fig. 4는 CSI 환자에 대한 3차원 입체조형치료계획이며 최적한 선량분포가 이루어질 때까지 여러 입력요소를 반복적으로 변경 계산할 수 있다. 또한 인접조사면의 접근으로 발생하는 과 선량지점(hot point)과 미달선량부위(cold point)를 평가할 수 있는 입체선량 공간분포도(dose volume histogram, DVH)와 종양치유확률(tumor control probability, TCP), 건강조직손상확률(normal tissue complication probability, NTCP), 선량증강효과(dose escalation) 등으로 치료성과의 예측이 가능하여 방사선치료효과를 향상시킬 수 있다.

### 3. 중추신경계의 입체조형치료 표준화

Volumetric spiral CT와 CT-SIM 및 3-D RTP를 이용하여 척추의 전이가 가능한 뇌종양(Medulloblastoma, CNS Leukemia, Germ cell tumors, High grade ependymomas, Multicentric CNS lymphomas)에 대한 뇌척주 방사선치료(Craniospinal irradiation, CSI)의 최적한 치료표준 protocol

을 Table 2과 같이 제정하여 CSI치료의 기초자료를 확보하였다.

### 고안 및 결론

기존의 모의치료기로 두개척수 방사선치료의 모의치료를 할 때는 수직조사면의 교차면 일치와 조사면간의 간격 및 교차점을 시각적으로 확인하고 교정하는 복잡한 과정에서 기하학적 계산과 추가적인 시간 지연이 불가피하였고 환자 자세의 불확정성이 크게 존재하여왔다. 그러나 전산화단층촬영 모의치료방법은 환자의 전산화 단층촬영만으로 가능하게 되고 모든 모의계획은 CT장치로 얻어진 체적영상으로 구현하는 가상모의 계획에서 이루어진다.

가상모의창에 환자의 전신 입체영상을 출현시켜 환자 신체의 모든 선속방향(beams eye view)에서 조사면과 방향 및 간격을 조정하여 최적한 모의계획이 이루어질 수 있었고 모의치료 시간과 치료 시간을 줄일 수 있어서 방사선종양학

과의 업무량 개선 효과도 있었다.

즉, 전산화단층촬영장치를 이용할 경우 영상획득 후 치료 계획을 수행할 때는 환자 없이 치료계획을 시행함으로써 조준치료에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있고, 전산화단층촬영 영영상을 획득함으로써 중요정상조직인 안구, 척수 등을 적절하게 추출해 낼 수 있을 뿐 아니라 조사면 결정과 차폐의 정확성을 증진시킬 수 있다. 전산화단층촬영장치를 이용한 영상획득에서 환자 움직임으로 인한 해부학적 변위 차이와 잘못된 비교 등이 있을 수 있고 무엇보다 DRR 영상의 질이 저하된다는 문제점이 있으나 정확성 검증을 위해 DRR 영상과 조사면 검증 사진 및 조준치료영상을 비교함으로써 유용성을 확인할 수 있었다.

환자 자세에서 주의해야 할 점은 턱의 위치와 경추 및 어깨의 위치가 항상 일정해야 하며 호흡이 지장이 없도록 공기 유통구를 확보한 두부고정틀을 제작해야 하는 것이다. 그렇지 않을 경우, 흉추 조사면의 통과선(exit beam)이 턱에 걸리게 되므로 두경부 조사면과의 경계를 정하는 것이 어렵게 된다. 또 전산화단층촬영을 위한 최초 중심점(initial isocenter)은 고정기가 가장 안정적인 두부고정틀 위에 정해지고 가상모의치료 후 확정된 실제 치료중심점으로 이동해야 한다. 몸통 위에 정해줄 경우, 호흡 등으로 치료중심점 자체가 불안정해진다. 척추 조사는 척추를 일직선으로 고정시키고 거의 수평이 되도록 몸통고정틀을 사용하여야 한다.

본 연구에서는 CT-SIM으로 체적영상을 얻고 가상현실 모의치료와 치료계획으로 정확한 모의치료와 적절한 선량분포를 얻을 수 있어 복잡하고 불가능한 특수 치료계획을 용이하게 실현할 수 있었다.

방사선은 악성종양치료에 매우 큰 효과가 있지만 건강조직에도 상당한 손상을 주기 때문에 그 선택이 경우에 따라 제한되어왔다. 그러나 주위 건강조직의 손상 없이 종양의 크기와 모양대로 종양에만 방사선을 집중 조사하는 방사선입체조형치료는 암치료의 획기적인 방법으로 입증되고 있다.

뇌를 포함하는 중추신경계의 방사선치료는 각각 다른 변형된 조사면을 각각 다른 방향에서 접속시켜야 하는 매우 복잡한 방법이므로 기존의 조준계획으로는 정확한 선량분포를 확인하기가 어려워 사실상 입체조형치료를 완벽히 수행할 수 없었다.

본 연구에서는 Spiral CT simulation system으로 체적영상(Volumetric image)을 얻고 가상현실 치료조준(Virtual simulation)과 치료계획으로 복잡하고 장시간의 치료준비가 요구되었던 특수치료계획을 만족하게 성취할 수 있었다. 특히 척추의 전이가 가능한 뇌종양 치료는 뇌척추 전부를 방사

선으로 치료하기 때문 Volumetric spiral CT와 Virtual simulator 및 3-D Radiation treatment planning system을 이용한 치료계획 만이 종양부위에 집중적이고 조사면의 중복을 피하고 균일한 선량분포를 얻을 수 있어 가장 이상적인 치료결과에 도달할 수 있다.

CT simulator를 이용한 방사선 치료방법은 3차원 방사선 치료계획을 정확히 수행 할 수 있으며 정량적인 선량평가를 위하여 입체선량 분포도(DVH), 종양치유확율(TCP), 건강조직손상확율(NTCP) 등 새로운 개념을 확립하고 종양의 투여 선량증가량(dose escalation)을 결정하는 실험식을 유도함으로써 암치료 성과를 향상시킬 수 있으며 완벽한 방사선입체조형치료를 암치료 병원에 쉽게 보급할 수 있다. 이론적인 면에서도 2차원 평면적이고 도형적인 CT영상에서 3차원적 조직구성 성분을 체적(voxel)화하여 방사선에 적용함으로써 정확한 선량분포를 얻을 수 있으며 모든 종양에 대하여 서도 입체(volume)개념과 조직에 대한 방사선 에너지의 입체적 전환 과정을 이해하고 가상현실의 입체도형에 대한 전산 S/W 개발로 영상, 도형 등 입체적인 암의 발생 부위의 진단과 입체선량계획 등 암의 진단, 치료에 상당한 도움을 주어 암퇴치에 크게 공헌할 것으로 생각된다.

방사선 치료방법의 최대 목표는 악성종양에만 방사선을 집중조사 시키고 주위 건강 조직의 피폭을 감소시킴으로서 치료효과를 향상시키는데 있다. 그러나 방사선은 피부를 통하여 체내를 투사하기 때문에 이들의 감약과 직진성에 의하여 주위건강 조직의 손상 없이 종양에만 집중 조사가 매우 어렵다. 또한 악성종양의 대부분은 암 조직이 체내 깊숙이 일정한 모양 없이 성장함으로 이를 외부 방사선으로 주위장기와 건강조직의 손상 없이 악성종양에 적정 치료선량을 투여 할 수 없는 경우가 많다.

연세 암센터에서는 고 에너지 선형가속기와 고성능 컴퓨터의 개발로 종양 모양에 따라 방사선을 투여할 수 있는 3차원 입체조형치료(3-D CRT)를 시행하여 주위 건강조직의 손상을 최대한 감소시키면서 종양의 선량을 증가시켜 치료 효과를 향상시키고 있다.

본원에 새로 도입된 Spiral CT Simulation system은 체적영상(volumetric scan)을 얻을 수 있고 가상현실 치료조준(virtual simulation)과 치료계획이 가능하여 복잡하고 불가능한 치료계획을 만족하게 성취할 수 있다. 척추의 전이가 가능한 뇌종양(Medulloblastoma, CNS Leukemia, Germ cell tumors, High grade ependymomas, Multicentric CNS lymphomas 등) 치료를 위한 뇌척추 방사선치료(Cranio-spinal irradiation, CSI)의 복잡한 치료방법을 Volumetric

spiral CT와 Virtual simulator 및 3-D RTP를 이용하여 종양부위에는 집중적이고 조사면간의 겹침이 없이 균일한 선량 분포를 얻으며 건강조직에는 최대한 보호될 수 있는 방사선 치료방법을 개발하여 방사선치료 성과가 기대 된다.

### 참 고 문 헌

1. Jenkin RDT: The radiation treatment of medulloblastoma. *J Neurol Oncol* 29:45-54 (1996)
2. Mirimanoff RO, et al.: Pediatric medulloblastoma: Radiation treatment technique and patterns of failure. *Int J Rad Oncol Biolo Phys* 37:523-529 (1997)
3. Van DJ, et al.: Medulloblastoma: Treatment technique and radiation dosimetry. *Int J Rad Oncol Biolo Phys* 2:993-1005 (1987)
4. Roettinger EM, et al.: Influence of the quality of radiotherapy on prognosis of medulloblastoma. *Rad Oncol* 24:11-18 (1992)
5. Dunbar SF, Barnes P, Tarbell NJ: Radiological determination of the caudal border of the spinal field in cranial spinal irradiation. *Int J Rad Oncol Biolo Phys* 26:669-672 (1993)
6. Karlsson U, et al.: Ocular globe topography in radiotherapy. *Int J Rad Oncol Biolo Phys* 33:705-712 (1995)
7. Roland BH: A simple method of radiation treatment of craniospinal fields with patient supine. *Int J Radiat Oncol Biolo Phys* 49:261-264 (2001)
8. McGee KP, Das IJ, Sims C, et al.: Evaluation of digitally reconstructed radiographs (DRR) used for clinical radiotherapy: A phantom study. *Med Phys* 22:1815-1827 (1995)
9. Galvin JM, Sims C, Dominiak G, et al.: The use of digitally reconstructed radiographs for three-dimensional treatment planning and CT simulation. *Int J Radiat Oncol Biolo Phys* 31:935-942 (1995)
10. Michalski JM, Sur RK, Harms WB, Purdy JA: Three dimensional conformal radiation therapy in pediatric parameningeal rhabdomyosarcomas. *Int J Radiol Oncol Biolo Phys* 33:985-991 (1995)
11. Mohan R: Dose computations for three-dimensional radiation treatment planning. *Austral Phys Eng Sci Med* 12:241-251(1989)
12. Brahme A: Dosimetric precision requirements in radiation therapy. *Acta Radiol Oncol* 23:379-391(1984)
13. Schultheiss TE, Orton CG: Models in radiotherapy, Definition of decision criteria. *Med Phy* 12:183-187 (1985)
14. Webb S: Optimization of conformal radiotherapy dose distributions by simulated annealing. *Phys Med Biolo* 34:1349-1379 (1989)
15. Rosen II, Lane RG, Morrill SM, Belli JA: Treatment planning optimization using linear programming. *Med Phys* 18:141-152(1991)
16. Mohan R, Leibel S, Burman CM, Fuks Z, Mageras GS: Clinically relevant optimization of 3-dimensional conformal treatments. *Med Phys* 19:933-944(1992)
17. Lee S, Kim YB, Kwon SI, et al.: CT Simulation Technique for Craniospinal Irradiation in Supine Position. *KJ Med Phys* 20:165-175(2002)
18. Lyman JT: Complication probabilities as assessed from dose volume histograms. *Rad Res* 104:513-519 (1985)



## 3-D Conformal Radiotherapy for CNS Using CT Simulation

Sung Sil Chu, Ph.D., Kwang Hwan Cho, M.S., and Chang Geol Lee, M.D.

*\*Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center, Yonsei University, Seoul, Korea*

**Purpose :** A new virtual simulation technique for craniospinal irradiation (CSI) that uses a CT-simulator was developed to improve the accuracy of field and shielding placement as well as patient positioning.

**Materials and Methods :** A CT simulator (CT-SIM) and a 3-D conformal radiation treatment planning system (3D-CRT) were used to develop CSI. The head and neck were immobilized with a thermoplastic mask while the rest of the body was immobilized with a Vac-Loc. A volumetric image was then obtained with the CT simulator. In order to improve the reproducibility of the setup, datum lines and points were marked on the head and body. Virtual fluoroscopy was performed with the removal of visual obstacles, such as the treatment table or immobilization devices. After virtual simulation, the treatment isocenters of each field were marked on the body and on the immobilization devices at the conventional simulation room. Each treatment fields was confirmed by comparing the fluoroscopy images with the digitally reconstructed radiography (DRR) and digitally composited radiography (DCR) images from virtual simulation. Port verification films from the first treatment were also compared with the DRR/DCR images for geometric verification.

**Results :** We successfully performed virtual simulations on 11 CSI patients by CT-SIM. It took less than 20 minutes to affix the immobilization devices and to obtain the volumetric images of the entire body. In the absence of the patient, virtual simulation of all fields took 20 min. The DRRs were in agreement with simulation films to within 5 mm. This not only reducee inconveniences to the patients, but also eliminated position-shift variables attendant during the long conventional simulation process. In addition, by obtaining CT volumetric image, critical organs, such as the eyes and the spinal cord, were better defined, and the accuracy of the port designs and shielding was improved. Differences between the DRRs and the portal films were less than 3 mm in the vertebral contour.

**Conclusion :** Our analysis showed that CT simulation of craniospinal fields was accurate. In addition, CT simulation reduced the duration of the patient's immobility. During the planning process. This technique can improve accuracy in field placement and shielding by using three-dimensional CT-aided localization of critical and target structures. Overall, it has improved staff efficiency and resource utilization by standard protocol for craniospinal irradiation.

**Key Words :** Craniospinal irradiation (CSI), Central nervous system (CNS), 3-D conformal radiotherapy, CT-simulator, Virtual simulation, Geometrical verification, Medulloblastoma