

전산화단층촬영모의치료장치를 이용한 배와위 두개척수 방사선치료 계획

연세대학교 의과대학 방사선종양학교실*, 경기대학교 대학원 의학물리학과†

이 석*† · 김용배* · 권수일† · 추성실* · 서창욱*

목적 : 척수에 전이가 가능한 뇌종양 치료를 위한 두개척수 방사선치료 시 복와위가 불가능한 경우 전산화단층촬영모의치료장치(volumetric spiral CT)와 가상모의 치료기(virtual simulator) 및 3차원 방사선치료계획장치를 이용하여 배와위로 두개척수 방사선치료계획 방법을 개발하고 기하학적 검증을 통하여 유용성을 고찰하고자 하였다.

대상 및 방법 : 2000년 5월에서 2001년 12월까지 연세암센터 방사선종양학과에서 배와위로 두개척수 방사선치료를 받은 환자 9명을 대상으로 하였다. 복와위가 불가능한 중증의 뇌종양 환자를 배와위로 하여 두경부는 두부고정틀(thermoplastic mask, Aquaplast®)로 고정시키고, 전신은 Vac-Loc® (전성물산, 한국)으로 고정한 후 전산화단층촬영모의치료장치를 이용하여 전신체적영상(volumetric image)을 얻었다. 환자 자세의 재현성 확인 및 검증을 위해 두부에 세 개의 점과 전신에 기준선 및 기준점 등을 표시하였다. 이후 가상현실 영상(virtual fluoroscopy)에서 인체의 크기와 방향에 제약이 없고 치료 침대와 고정기구에 대한 시각장애를 제거함으로써 자유롭게 모의치료를 할 수 있었으며, 조사면과 빔을 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.

결과 : 전산화단층촬영모의치료장치와 가상모의치료기 및 3차원 방사선치료계획 장치 등을 이용하여 복와위가 불가능한 환자의 두개척수 방사선 치료계획을 배와위로 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. 환자 자세 오차는 디지털화재구성사진과 치료 시마다 얻은 포트필름에서 치료중심점과 척수 사이의 거리를 측정하여 3 mm 이내의 정확성을 얻을 수 있었다.

결론 : 전산화단층촬영모의치료장치로 체적영상을 얻고 가상현실모의치료계획으로 배와위 두개척수 방사선치료계획을 정확하고 용이하게 실현할 수 있었다. 따라서 배와위 두개척수 방사선치료는 복와위를 취할 수 없어서 치료 가 힘든 소아환자, 전신상태가 좋지 않거나 기관절개술이 시행되어 있는 환자에서 유용한 방법임을 알 수 있었다.

핵심용어 : 두개척수 방사선치료(craniospinal irradiation, CSI), 전산화단층촬영모의치료장치(CT simulator), 배와위, 기하학적 검증

서 론

척수 강 내에 전이가 가능한 뇌종양의 치료에는 두개척수 방사선치료(craniospinal irradiation, CSI)가 필요하다. 두개척수 방사선치료는 척수의 해부학적 위치 때문에 엷드린 자세에서 두부와 경추부는 양측면 대향조사로, 흉추와 요추, 천추

관은 단일 후방 조사하는 것이 일반적인 방법이다.¹⁾ 보통 3부분으로 나누어지는 조사면 간의 교차면을 맞추기 위해서 피부에서의 교차 간격을 시각적으로 바로 확인할 수 있는 복와위가 선택되었다. 그러나 복와위에서는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 대부분의 환자가 소아여서 협조성(cooperation)이 떨어진다. 엷드린 자세로 오랜 시간 부동 자세를 취하기가 어렵기 때문에 여러 차례 사진을 찍어야 하는 모의 치료 자체를 순조롭게 진행하기 쉽지 않으며 방사선치료의 정확성도 떨어질 수 있다. 따라서 마취나 진정(sedation)이 요구되는 경우가 많아서 치료진에게는 상당히 부담이 된다. 둘째, 복와위를 취하지 못하는 환자, 즉 의식상태가 반혼수, 혼수

이 논문은 2002년 2월 23일 접수하여 2002년 5월 24일 채택되었음.

책임저자: 서창욱, 연세대의 연세암센터 방사선종양학과

Tel: 02)361-7631, Fax: 02)312-9033

E-mail: cosuh317@yumc.yonsei.ac.kr

등으로 의사소통이 안 되는 경우나 기관절개(tracheostomy)가 되어 있는 경우에는 치료계획 자체가 불가능하다.²⁾ 기존의 모의치료장치로도 배와위 두개척수 방사선치료계획이 불가능하지는 않으나 전산화단층촬영모의치료장치를 이용하여 영상 획득 후 치료계획을 수행할 경우에는 환자 없이 치료계획을 설계함으로써 모의치료에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있고, 전산화단층촬영영상을 통하여 중요정상조직인 안구, 척수 등을 정확하게 확인하고 조사면 결과와 차폐의 정확성을 증진시킬 수 있다.^{3,4)}

본 연구에서는 전산화단층촬영모의치료장치와 가상모의치료기 및 3차원 방사선치료계획장치 등을 이용하여 배와위로 두개척수 방사선치료를 계획하는 방법을 개발하였고 9명의 환자에서 성공적으로 시행할 수 있었다.

대상 및 방법

2000년 5월에서 2001년 12월까지 연세암센터 방사선종양학과에서 배와위로 두개척수 방사선치료를 받은 환자는 9명이었다. 중추신경계에 재발한 백혈병(leukemia, CNS relapse) 환자가 4명, 수모세포종(medulloblastoma) 환자가 3명, 생식세포종(germ cell tumor), 상의세포종(ependymoma)가 각 1명이었다. 나이는 1세에서 12세까지였고, 중앙값은 4세였다(Table 1). 첫 번째 환자는 10세 된 수모세포종 환자로 기관절개된 상태였으며 반 혼수 상태이어서 복와위를 취할 수 없었다. 따라서 이 환자를 치료하기 위하여 전산화단층촬영모의치료장치를 이용한 배와위 두개척수치료법을 개발하였으며 차차 어린 환자 들을 중심으로 적용을 확대하였다(Fig. 1).

배와위 상태에서 전산화단층촬영모의치료장치(CT-Simulator, PICKER PQ5000, Marconi, USA)를 이용하여 전신체적영상(volumetric image)을 얻었고 전산화단층촬영영상으로부터 재구성한 가상 현실 영상으로 가상모의치료(virtual simulation)

를 시행하였다. 전산화단층촬영영상으로부터 재구성한 디지털화재구성사진(digitally reconstructed radiography, DRR)과 디지털화합성사진(digitally composited radiography, DCR) 영상의 질(resolution)을 좋게 하기 위하여 3 mm 간격의 두께로 182 장을 얻었고, 이때 관심영역은 27.5 cm, 화소크기는 0.43 mm 이었다. 가상현실 영상(virtual fluoroscopy)에서 모의치료를 하므로 인체의 크기와 방향에 제약이 없고, 치료테이블과 고정기구에 대한 시각장애를 제거함으로써 자유롭게 모의치료를 할 수 있었다. DRR과 DCR을 통하여 분해능이 좋은 화질의 투시 및 모의치료영상을 획득하였고, 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.

1. 환자 자세 고정과 재현성을 위한 기준선과 기준점 설정

환자 자세 고정을 위해 배와위 상태에서 두경부는 두부고정틀(thermoplastic mask, Aquaplast[®])로 고정시킨 후, 전신을 Vac-Loc[®] (전성물산, 한국)으로 고정하였다. 환자 자세의 재현성 확인 및 검증을 위해 두경부에 세 개의 점(Anterior & both lateral)을 표시하고 몸의 전면에 기준선 및 기준점 등을 표시하였다. 고정 장치 안에 환자의 몸이 항상 같은 위치에 고정될 수 있도록 어깨, 가슴, 다리에 수평 기준선을 Vac-Loc 과 연결하여 표시하였다. 수직선을 맞추기 위하여 정중선 3 곳에 기준점을 정하고 문신하였다(Fig. 2).

2. 가상 모의치료(Virtual Simulation)

조사면이 크므로 두개경추 조사면은 2문 측면 대항조사로, 나머지 척수 조사면은 단일 후방조사로 잡았다. 양쪽 두개경추 조사면은 전뇌와 경추를 포함하여 어깨가 들어가지 않는 면까지 정하였다. 흉추, 요추, 천추 조사면은 37 cm가 넘지

Table 1. Patients Characteristics

No.	Age (year)	Sex	Diagnosis	CSI* Dose (Gy)	Remark
1	1 3/12	Male	Leukemia	9	CNS relapse
2	3 1/12	Male	Medulloblastoma	30	
3	3 2/12	Male	Leukemia	12	CNS relapse
4	4 2/12	Male	Ependymoma	40	CSF seeding in spine MRI [†] , Tracheostomy state
5	4 5/12	Male	Leukemia	12	CNS relapse
6	4 11/12	Male	Leukemia	12	CNS relapse
7	8 1/12	Male	Medulloblastoma	36	
8	9 11/12	Male	Medulloblastoma	45	CSF seeding in spine MRI [†] , Tracheostomy state
9	12 3/12	Male	Germinoma	24	

*CSI: craniospinal irradiation, [†]MRI: magnetic resonance imaging

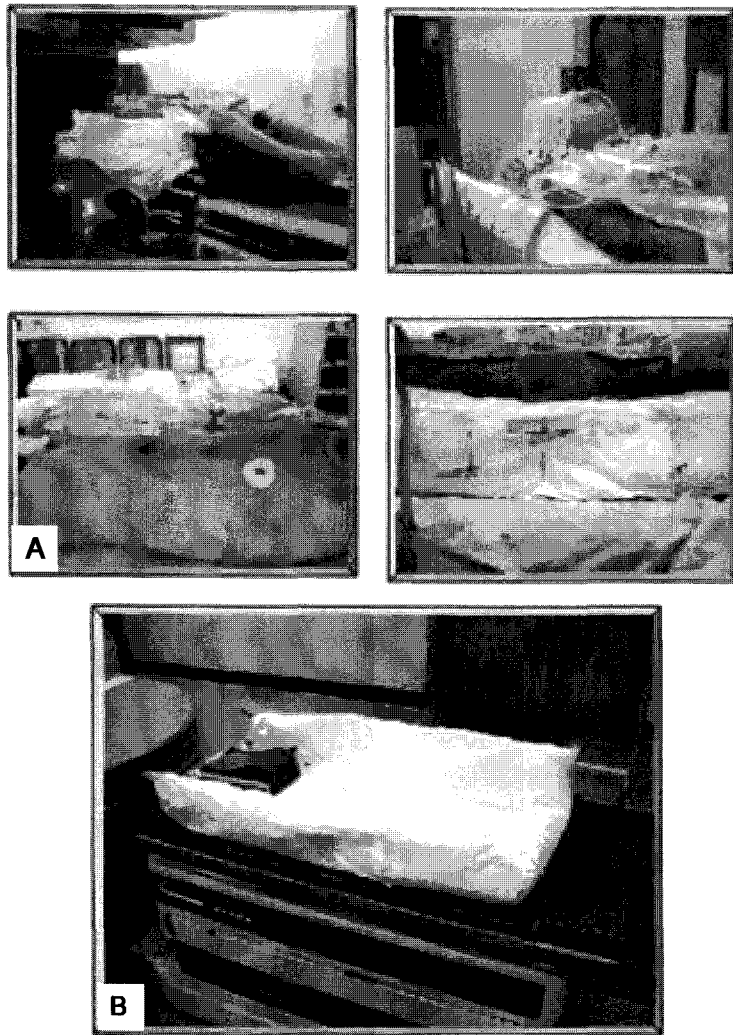


Fig. 1. Patient with a craniospinal irradiation in supine position; (A) patient setup, (B) immobilization device.

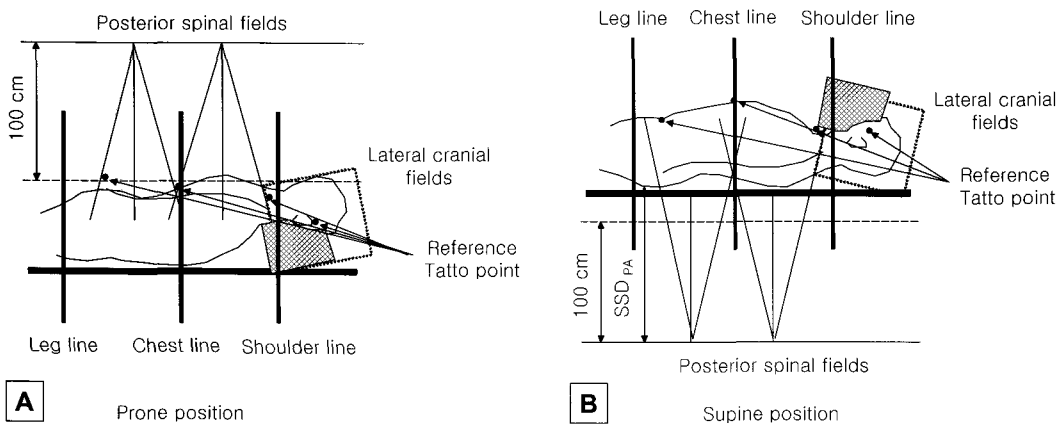


Fig. 2. Geometry of craniospinal irradiation; (A) prone position, (B) supine position. The isocentric, parallel-opposed lateral cranial fields, a posterior thoracic spine field and a posterior lumbar spine fields are schematically shown. The reference point and line is marked for the patient setup.

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 조사면 하연을 결정하였다. 먼저 흉추 조사면을 설정한 후 여기에 맞추어서 두개경추 조사면과 요추, 천추 조사면을 설계하였다. 양측 두개경추 조사 면의 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 가상모의치료기에서 시각적으로 확인하면서 결정하였다. 흉추조사면과 요추, 천추관 조사면은 접점이 척수강의 전면에 위치하도록 설계하였다. 이러한 작업들은 가상현실영상의 multiple plane reformation (MPR) 영상에서 횡단면(axial), 시상면(sagittal), 관상면(coronal) 각각의 단면들에서 확인하였다(Fig. 3). 치료 계획상으로는 조사면 경계 부위의 과다선량과 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, 위 쪽 방향으로 총 선량에 따라 1 cm 간격으로 1번 내지, 2 번의 이동을 실시하였다. 두개척수 방사선치료의 총 선량이 12 Gy 이하일 경우 경계이동을 시행하지 않으며, 24 Gy 이

하일 경우 1번, 36 Gy 이상일 경우 2번 시행하였다.

3. 기하학적 검증

가상모의치료가 완성되면 모의치료실에서 확정된 치료 중심점을 환자 몸과 고정틀에 표시하면서 투시로 치료면을 확인하고 모의치료영상을 얻었다. 치료중심점 이동시 얻은 모의치료영상과 첫 치료 시에 얻은 포트필름 등을 전산화단층 촬영 영상으로부터 재구성한 DRR 영상과 비교하여 치료중심점과 척수 사이의 거리 차이를 시각적, 정량적으로 평가하도록 하였다. 또한 두개척수 조사면의 치료중심점에서의 선원-체표면간 거리를 환자 몸에 표시한 후 매 치료 시마다 확인하고, 두 조사면 처방 깊이까지의 선원-체표면간 거리(source-surface-distance, SSD)와 횡축 조사면 길이 등을 이용하여, 피부에서의 교차 간격(gap junction)을 구하고, 이를 수작업으로 계산하여 비교, 확인하였다.

결 과

전산화단층촬영모의치료장치와 가상모의치료기 및 3차원 방사선치료계획장치 등을 이용하여 복외위가 불가능하였던 2명의 환자에서 두개척수 방사선치료 계획을 원활히 수행할 수 있었다. 또 복외위로 두개척수치료를 하기 위해서는 마취가 필요한 4세 미만의 3명의 환자에서 마취 없이 배외위로

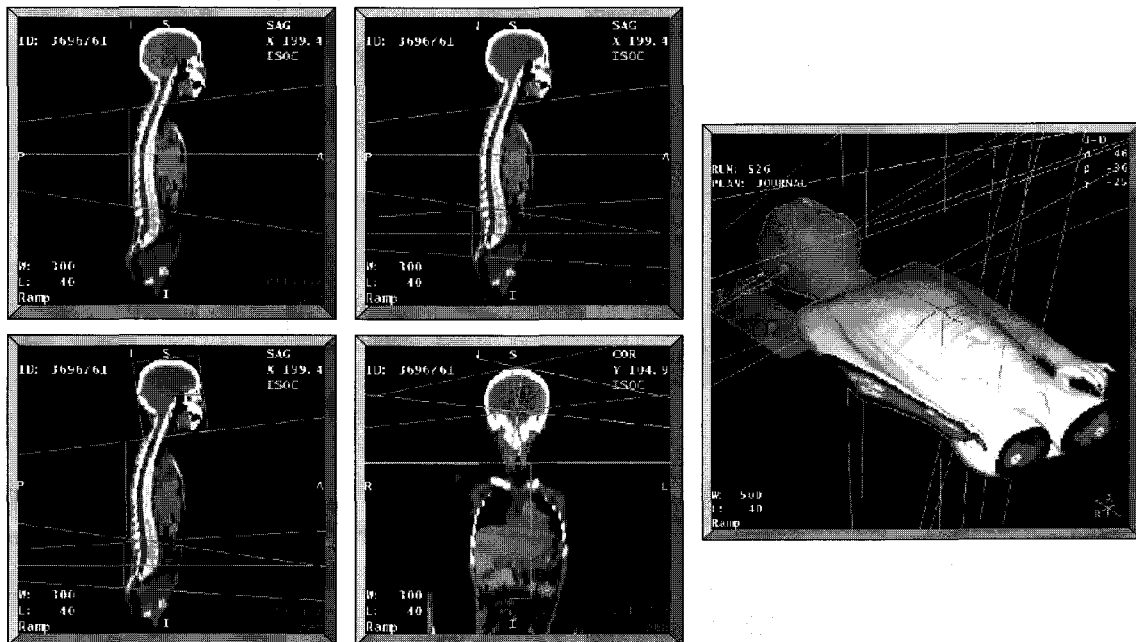


Fig. 3. Craniospinal irradiation as seen in sagittal and coronal views. Accurate matching of the cranial, thoracic spine field, and lumbar spine fields is achieved by interactive collimator and couch rotation on the virtual simulation.

치료하였다. 복와위가 가능했던 환자 4명에 대해서도 전산화 단층촬영모의치료장치를 이용한 배와위 상태의 가상모의치료와 치료는 모의치료시간을 단축하는 효과와 치료 때 복와위 상태로 20~30분 부동 자세를 취해야 하는 환자의 불편함을 해소해 주어서 치료 과정의 수월성을 향상시켰다. 기존의 복와위 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 이내이므로 환자의 불편을 줄일 수 있을 뿐 아니라 모의치료과정 중의 체위 변동 변수를 제거할 수 있었다. 전신 상태가 나쁜 환자도 쉽게 모의치료를 수행할 수 있었고, 장기간의 치료를 잘 마칠 수 있었다.

해부학적 구조와 치료중심점과 척수 사이의 거리 차이 등을 이용해 치료중심점 이동시 얻은 모의치료영상과 첫 치료시에 얻은 포트필름 등을 전산화단층촬영 영상으로부터 재

구성한 DRR 영상과 비교함으로써 시각적, 정량적으로 평가하여 3 mm 이내의 정확성을 얻을 수 있었다(Table 2). 이때 두개척수 조사면에서 전두개와(anterior cranial fossa), 두개저(skull base), 외이도(external auditory canal), 후두개와(posterior cranial fossa) 등을 흉추, 요추, 천추관 조사면에서는 척추 윤곽(bony contour), 척추뼈고리뿌리(pedicle) 등을 해부학적 표지자로 이용하였다. 또한 두개척수 조사면의 치료중심점에서의 선원-체표면간 거리를 환자 몸에 표시한 후 매 치료 시마다 확인하고, 또한 두 조사면 처방 깊이까지의 선원-체표면간 거리(source-surface-distance, SSD)와 횡측 조사면 길이 등을 이용하여, 피부에서의 교차 간격(gap junction)을 구하고, 이를 수작업으로 계산하여 비교, 확인함으로써 환자 자세의 재현성 및 정확성을 확인할 수 있었다.

고안 및 결론

기존의 모의치료기로 두개척수 방사선치료의 모의치료를 할 때는 시각적으로 교차점을 확인하고 등에 조사면을 표시하여야 하기 때문에 복와위로 할 수밖에 없었다. 하지만 전산화단층촬영모의치료장치로 얻어진 체적영상으로 구현하는 가상모의치료에서는 환자를 신체의 모든 방향에서 볼 수 있기 때문에 배와위 상태로 전산화단층촬영영상을 찍어도 복와위 상태로 모의치료가 가능하다. 이것을 이용하여 보다 안정적인 자세인 배와위로 모의치료와 매일의 치료를 함으로써 기존의 방법으로 치료가 불가능한 환자들에게 두개척수치료를 확대 적용할 수 있었다. 또한 모의치료 시간과 치료 시간을 줄일 수 있어서 방사선종양학과와의 업무량 개선 효과도 있었다.

기존의 모의치료장치로도 배와위 두개척수 방사선치료의 모의 치료 자체가 불가능하지는 않으나, 기하학적 계산과 추가적인 시간 지연이 불가피하다.⁴⁾ 반면에 전산화단층촬영모의치료장치를 이용할 경우 영상획득 후 치료계획을 수행할 때는 환자 없이 치료 계획을 시행함으로써 모의치료에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있고, 전산화단층촬영영상을 얻음으로써 중요정상조직인 안구, 척수 등을 걱정하게 추출해 낼 수 있을 뿐 아니라 조사면 결정과 차폐의 정확성을 증진시킬 수 있다. 물론, 전산화단층촬영모의치료장치를 이용하여 배와위 자세로 수행할 경우에도 영상획득 시 환자 움직임으로 인한 해부학적 변위 차이와 잘못된 비교 등이 있을 수 있고 무엇보다 DRR 영상의 질이 저하된다는 문제점이 있다. 또한 배와위 자세는 두개부와 잔여척수 부위 사이의 경계를 시각적으로 보기 어려운 문제는 있다. 그러나 정확성 검증은

Table 2. Results of Differences between the DRRs and the Portal Films in the Vertebral Contour for Nine Patients (mm)

Patient no.	Region	DRR	Portal films	Errors
1	R1	15, 19	12, 18	3
	R2	17, 7	15, 7	2
	R3	17, 24	15, 22	3
2	R1	12, 17	11, 16	2
	R2	14, 6	12, 6	2
	R3	14, 20	13, 21	2
3	R1	14, 18	11, 17	3
	R2	15, 9	13, 7	3
	R3	16, 21	14, 21	2
4	R1	13, 16	10, 15	3
	R2	15, 5	15, 7	2
	R3	16, 22	13, 21	3
5	R1	12, 16	11, 15	2
	R2	14, 7	15, 6	2
	R3	15, 21	13, 19	3
6	R1	16, 19	14, 17	3
	R2	19, 8	16, 7	3
	R3	18, 25	18, 23	2
7	R1	14, 17	12, 17	2
	R2	12, 6	11, 6	1
	R3	13, 18	10, 17	3
8	R1	13, 17	11, 17	2
	R2	16, 8	13, 7	3
	R3	16, 20	14, 18	3
9	R1	15, 19	14, 18	2
	R2	17, 9	15, 7	3
	R3	17, 23	16, 20	3

Abbreviations : R1, isocenter, R2, upper 10 cm from isocenter, R3, lower 10 cm from isocenter

위해 DRR 영상과 조사면 검증 사진 및 모의치료영상을 비교함으로써 유용성을 확인할 수 있었다.

배와위 모의치료조준 시 주의해야 할 점은 턱이 아래로 쳐지지 않게 지지해주면서 두부고정틀을 제작해야하는 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 고정이 가장 안정적인 두부고정틀 위에 정해주고 가상모의치료 후 확정된 실제 치료중심점으로 이동해야 한다. 몸통 위에 정해줄 경우, 호흡 등으로 치료중심점 자체가 불안정해진다. 척추 조사는 SSD법을 사용하므로 고정 기구에 중심점을 표시할 수 있도록 고정 기구를 잘 만드는 것이 중요하다.

본 연구에서는 전산화단층촬영모의치료장치로 체적영상을 얻고 가상현실 모의치료와 치료계획으로 정확한 모의치료와 적절한 선량분포를 얻을 수 있어 복잡하고 불가능한 특수 치료계획을 용이하게 실현할 수 있었다. 따라서 배와위 자세

의 전산화단층촬영모의치료장치를 이용한 두개척수 방사선 치료 방법은 복와위를 취할 수 없고 협조가 되지 않는 소아 환자, 전신상태가 좋지 않거나, 기관절개술이 시행되어 있는 환자에서 유용한 방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Jenkin RDT. The radiation treatment of medulloblastoma. J Neurol Oncol 1996;29:45-54
2. Roland BH. A simple method of radiation treatment of craniospinal fields with patient supine. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001;49:261-264
3. McGee KP, Das UJ, Sims C, et al. Evaluation of digitally reconstructed radiographs (DRR) used for clinical radiotherapy: A phantom study. Med Phys 1995;22:1815-1827
4. 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 Biol Phys 1995;31:935-942

Abstract

CT Simulation Technique for Craniospinal Irradiation in Supine Position

Suk Lee, M.S.*[†], Yong Bae Kim, M.D.*, Soo Il Kwon, Ph.D.[†]
Sung Sil Chu, Ph.D.* and Chang Ok Suh, M.D.*

*Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center, College of Medicine, Yonsei University,

[†]Department of Medical Physics, Kyonggi University, Seoul, Korea

Purpose: In order to perform craniospinal irradiation (CSI) in the supine position on patients who are unable to lie in the prone position, a new simulation technique using a CT simulator was developed and its availability was evaluated.

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

Results: CSI in the supine position was successfully performed in 9 patients. It required less than 20 minutes to construct the immobilization device and to obtain the whole body volumetric images. This made it possible to not only reduce the patients' inconvenience, but also to eliminate the position change variables during the long conventional simulation process. In addition, by obtaining the CT volumetric image, critical organs, such as the eyeballs and spinal cord, were better defined, and the accuracy of the port designs and shielding was improved. The differences between the DRRs and the portal films were less than 3 mm in the vertebral contour.

Conclusion: CSI in the supine position is feasible in patients who cannot lie on prone position, such as pediatric patients under the age of 4 years, patients with a poor general condition, or patients with a tracheostomy.

Key Words: Craniospinal irradiation (CSI), CT simulator, Supine position, Geometrical verification