1)디지털화재구성사진(Digitally Reconstructed Radiograph)을 이용한 정위방사선수술 및 치료의 치료위치 확인

한림대학교 의과대학 강동성심병원 치료방사선과

조병철 · 오도훈 · 배훈식

목 적 : 정위방사선치료에서 디지털화재구성사진(Digitally Reconstructed Radiograph, DRR)과 조사문사진을 비교함으로써 환자의 치료위치를 직접 확인할 수 있는 방법을 개발하고자 한다.

대상 및 방법 : 분할정위방사선치료를 위해 thermoplastic mask 틀에 고정시킨 1명의 환자를 대상으로 4회 촬영한 전후 방향(AP) 및 측면 방향(lateral)에 대한 조사문사진과 DRR을 비교하였다. 치료위치 setup 후에, 혈관조영용 표적조준기와 같은 fiducial marker가 부착된 표적조준기를 정위수술용 틀에 부착한 후 치료용 원형 콜리메이터의 설치 전과 후에 겹조사 방식으로 촬영하여 전후방향 및 측면 방향의 조사문사진을 얻었다. 병변 및 중요 장기와 fiducial marker의 위치를 합성시킨 DRR 영상을 만들어 조사문사진과 동일한 확대율 및 크기로 투명 필름에 인쇄하여 비교하였다. 이로부터 DRR과 조사문사진상에 표시된 해부학적 구조와 치료중심점의 거리 오차(전체 치료 오차), 해부학적 구조와 fiducial marker간의 오차(환자고정 오차), 그리고 치료중심점과 fiducial marker간의 오차(치료조준 오차)를 각각 구하였다.

결 과 : 치료조준 오차는 각각 1.5±0.3mm(AP), 0.9±0.3mm(lateral) 이었고, 환자고정 오차는 1.9±0.5mm(AP), 1.9±0.4mm(lateral), 그리고 전체 치료 오차는 AP 상에서 1.6±0.9mm, lateral 상에서 1.3±0.4mm 이었다. 또한 AP와 lateral 오차로 인해 발생될 수 있는 3차원 공간상의 최대 가능 오차(sqrt{ (Delta AP)^2 + (Delta Lat)^2})는 치료조준 오차가 1.7±0.4mm, 환자고정 오차가 2.6±0.6mm, 그리고 전체 치료 오차는 2.3±0.7mm로 나타났다.

결 론 : DRR 영상을 재구성하는 프로그램을 개발하였으며, DRR 영상을 조사문사진과 비교함으로써 정위방사선치료에서 직접적인 치료위치 확인이 가능하였다.

핵심용어 : 정위방사선치료, 디지털화재구성사진, 치료위치 확인

서 론

일반 방사선치료에서는 모의치료사진과 조사문사진(portal film)을 비교해 봄으로써 치료위치의 정확성 여부를 직접적으로 확인할 수 있는데 반해, 정위방사선치료(stereotactic radiotherapy; SRT)에서는 전적으로 표적조준기(target localizer)에만 의존하여 왔다. 정위방사선수술(stereotactic radiosurgery; SRS)의 경우, 나사못 등을 사용하여 두개골을 정위수술용 틀(stereotactic frame)에 단단히 고정시키기 때문에 정위수술용 틀에 부착하는 표적조준기를 통한 간접적인 치료위치 조준으로도 충분하였다. 그러나 최근 증가추세를 보이고 있는 분할정위방사선치료(fractionated stereotactic radiotherapy; FSRT)의 경우, 대부분 비침습적인 고정기구[1,2]를 사용하여 분할조사를 시행하기 때문에 매 치료 시에 환자의 고정에 따른 오차가 발생하게 된다. 따라서 저자들은 Digitally Reconstructed Radiograph(DRR)을 치료 전에 촬영한 조사문사진과 비교함으로써 환자의 치료위치의 정확도를 직접 확인할 수 있는 방법을 개발하고자 하였고, 이를 사용하여 저자들이 thermoplastic mask를 활용하여 제작한 분할정위방사선치료용 환자고정장치의 고정 정확도를 확인하고자 하였다.

대상 및 방법

분할정위방사선치료를 시행한 1명의 환자를 대상으로 thermoplastic mask를 이용한 고정장치를 사용하여 환자를 고정시키고, 총 4회에 걸쳐 조사문사진을 촬영하여 이를 DRR과 비교, 분석하였다.

1. 조사문사진

치료용 표적조준기의 위, 아래, 양 옆면에 혈관조영촬영용 표

본 연구는 한림대의료원 연구비(과제번호 : 01-1998-09)의 지원을 받아 수행되었음.이 논문은 1998년 12월 4일 접수하여 1999년 1월 27일 채택되었음.책임 저자 : 조병철, 한림대학교 강동성심병원 치료방사선과 Tel : 02)224-2529 Fax : 02)475-8763

적조준기[3]과 같은 형태의 납을 이용한 fiducial marker들을 부착하여 조사문사진에서도 이 fiducial marker들이 관측될 수 있도록 하였다. 이 치료용 표적조준기를 정위수술용 틀에 부착하여 환자의 치료위치를 치료중심에 일치시킨 후, 치료용 원형 콜리메이터의 설치 전과 후에 겹조사(double exposure) 방식으로 EC-L 필름(Kodak사, 미국)을 사용하여 전후 방향 및 측면 방향의 조사문사진을 촬영하였다.

2. Digitally Reconstructed Radiograph(DRR)

치료계획을

위해 얻은 환자의 CT 데이터(Siemens Somatom Plus; 512×512 pixel, 3mm 간격)

로부터 DRR 영상을 재구성하는 프로그램을 개발하였다. DRR 영상 재구성을 위한 알고리즘은 Siddon[4]이 제시한 "voxel-by-voxel" ray tracing 방법을 사용하였고, DRR 영상의 일반

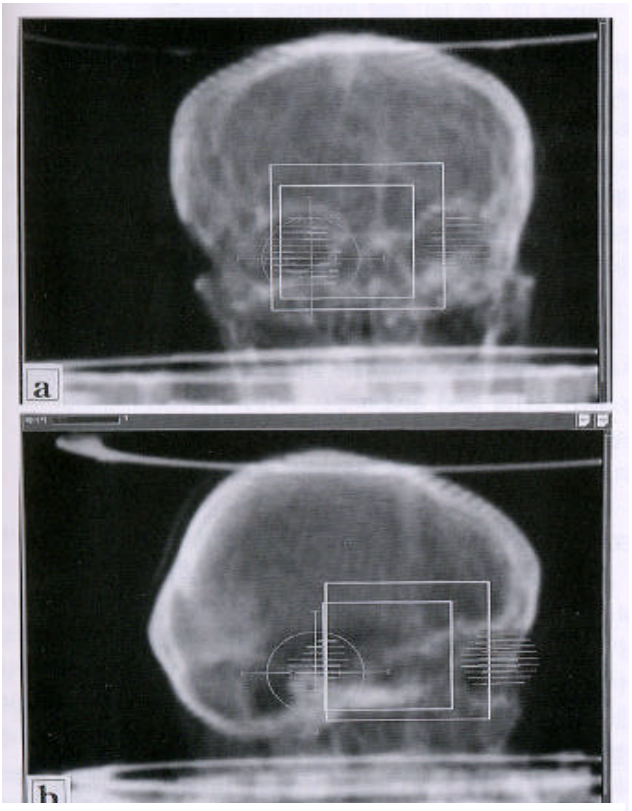

Fig.1. DRR images from (a) AP and (b) lateral view. Target, critical organs, the planned isocenter, and the cone size are superimposed over a patient`s anatomical structures.

조식에 대한 뼈의 대소노들 승가시길 복석으로 Sherouse GW 등[5]이 사용한 각 voxel의 총 감쇄인자 중 광전효과에 의한 감쇄만을 고려하였다. 또한 DRR 영상 위에 치료계획 과정에서 CT 횡단면상에서 추출한 병변, 중요 장기, 그리고 위에 기술한 표적조준기의 fiducial marker들의 위치를 합성시켰다(Fig. 1).

이렇게 얻은 DRR 영상을 조사문사진과 동일한 확대율 및 크기로 투명 필름에 인쇄하여 view box상에서 조사문사진과 겹쳐봄으로써 서로 비교하였다

(Fig. 2).

3. 오차 분석

DRR과 조사문사진 상에는 각각 환자의 해부학적 투영상, 치료중심점, 그리고 fiducial marker 위치의 3가지 독립된 개체가 표시되게 되는데, 여기서 DRR과 조사문사진의 해부학적 투영상을 일치시키고 치료중심점간의 상대위치의 차이를 측정하여 전체 치료오차를 구하였다. 이 전체 치료오차에는 치료기의 치료중심점의 정확도, 정위방사선수술용 틀 및 치료용 표적조준기의 정밀도 등에 의해 영향을 받는 치료조준 오차(localization error)와

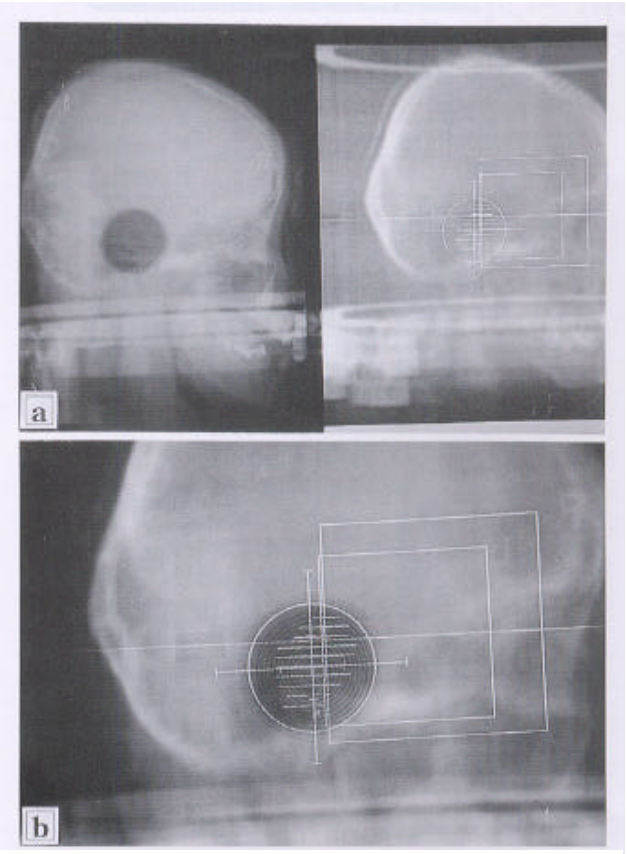

Fig.2. (a) portal image(left) and DRR(right) printed out on transparent film.(b) DRR was overlaid over portal image to verify treatment setup directly

환자의 위치 고정방식의 정확도에 영향을 받는 환자고정 오차(immobilization error)로 구분 지을 수 있다. 치료조준 오차는 치료중심점과 fiducial marker 간의 상대위치가 DRR과 조사문사진

에서 어떻게 달라졌는지를 측정하여 얻을 수 있었다. DRR과 조사문사진상의 8개 fiducial marker의 위치를 최대한 일치시킨 후, DRR과 조사문사진상에 표시된 치료중심점간의 거리를 측정하여 오차를 구하였다. 한편, 환자고정 오차는 해부학적 투영상과 fiducial marker의 상대위치의 변화를 분석함으로써 구할 수 있었다. 즉, DRR과 조사문사진 상의 해부학적 투영상을 서로 일치시킨 후 DRR과 조사문사진상에 표시된 동일 fiducial marker들 사이의 거리를 측정하여 8개 fiducial marker에 대한 오차의 평균을 구하였다.

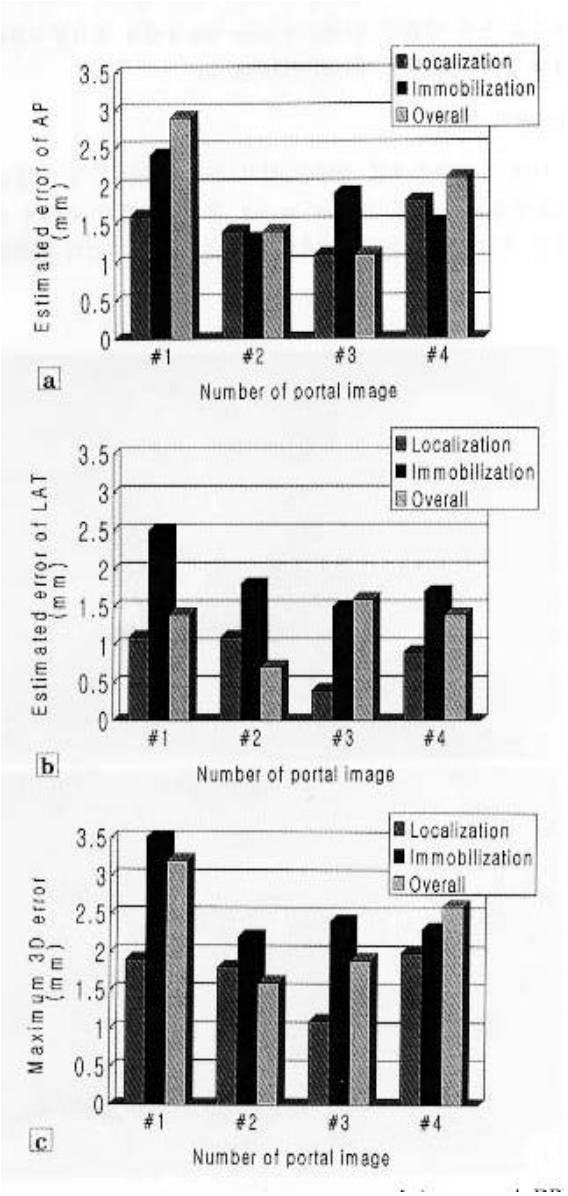

Fig. 3. Dispacement errors between portal image and DRR. (a) AP, (b) Lateral, and (c) the maximum 3D displacement errors (see text).

결 과

Fig. 3에 나타낸 바와 같이, 치료조준 오차는 AP와 lateral 상에서 각각 1.5±0.3mm, 0.9±0.3mm 이었고, 환자고정 오차는 1.9±0.5mm(AP), 1.9±0.4mm(lateral)이었다. 그리고 전체 치료오차는 AP상에서 1.6±0.9mm, lateral상에서 1.3±0.4mm 이었다.

한편, AP와 lateral 오차로 인해 발생될 수 있는 3차원 공간상의 최대 가능 오차(sqrt{ (Delta AP)^2 + (Delta Lat)^2})는 치료조준 오차가 1.7±0.4mm, 환자고정 오차가 2.6±0.6mm, 그리고 전체 치료 오차는 2.3±0.7mm로 나타났다. 예상했던 바와 같이 분할 정위방사선치료 시에 환자 고정에 의해 발생되는 오차가 치료조준 오차에 비해 크게 나타난 반면에 전체 치료 오차는 환자고정 오차보다 오히려 작게 나타났다. 이는 본 연구 대상환자의 특수한 사례로 치료조준 오차와 환자고정 오차가 서로 상쇄되어 나타난 결과일 것으로 추측되며, 일반적으로는 전체 치료오차 범위는 치료조준 오차 범위와 환자고정 오차 범위의 합이 된다.

고안 및 결론

Schell MC와 Wu A[7]에 따르면, 정위방사선수술 시에 발생되는 주된 오차 요인과 그 크기는 각각 정위틀(1.0mm), 표적결정에 사용한 영상(1.7mm), 치료기(1.0mm) 등이며, 이로 인해 약 1.9 2.4mm의 전체 치료 오차가 발생할 것으로 예측하고 있다. 여기에 2 3mm의 환자고정 오차를 추가시킨다면 정위방사선치료의 전체 치료 오차는 2.8 3.8mm로 증가하게 된다. 정위방사선수술과 같이 작은 병변을 치료할 경우, 예를 들어 직경 30mm 크기의 임상표적체적(clinical target volume; CTV, 14.1cc)을 치료할 경우, 3mm 위치 오차를 감안하기 위한 계획용표적체적(planning target volume; PTV)은 직경 36mm(24.4cc)가 되어 표적체적이 73%나 증가하게 된다. 따라서 최대한 위치 오차를 줄여야 하는데, 이는 현실적으로 환자고정 오차를 치료조준 오차 수준까지 줄여 주어야 할 것으로 판단된다. 저자들은 환자고정장치로 먼저 환자의 이마, 코 부위를 그 윤곽에 맞게 thermoplastic 판으로 덮어 고정시키고, 그 위에 다시 thermoplastic mask를 씌우는 방식을 사용하였는데 환자의 superior/inferior 방향의 오차가 가장 크게 나타났으며, 이는 bite block이나 dental plate를 보강시킴으로써 오차를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

저자들은 CT 데이터로부터 DRR 영상을 재구성하는 프로그

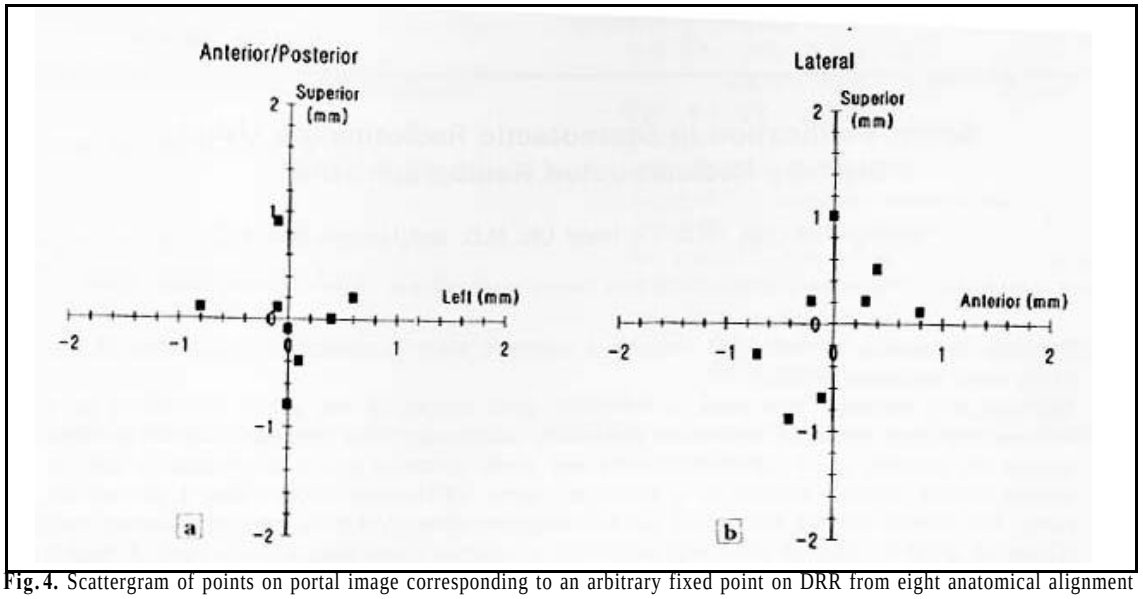

Fig. 4. Scattergram of points on portal image corresponding to an arbitrary fixed point on DRR from eight anatomical alignment tests. (a) AP, (b) Lateral.

램을 개발하였으며, 이를

사용하여 정위방사선치료에서 직접적인 치료위치 확인이 가능하였다. DRR 과 조사문사진 상의 해부학적 위치를 서로 일치시키는 과정은 다분히 주관적인 작업이긴 하나, 그 재현성을 평가하기 위하여 DRR의 AP와 lateral 평면상에 임의의 고정점을 정한 후, 8차례의 일치실험을 통하여 이 점이 조사문사진상에서 어떻게 분포하는지를 조사하였다. 그 분포도를 Fig. 4에 나타내었으며, 각각의 평균 및 표준편차는 AP 평면상에서는 0.5±0.3mm, lateral 평면상에서는 0.7±0.3mm이었다. 이 값은 분할정위방사선치료 시에 환자고정에 수반되는 2 3mm의 오차를 찾아내는 방법으로써 충분히 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 특히 DRR 영상 재구성 프로그램을 전자 조사문 촬영장치(electronic portal imaging device; EPID)와 병용하여 사용함으로써 매 치료 전 위치확인 및 조정이 가능할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 AP와 lateral 평면상에서의 이동에 의한 오차만을 분석하는데 그쳤으나, 3차원적인 환자의 움직임을 정확히 분석하기 위해서는 3차원적인 이동과 함께 회전도 고려되어야 하는데[6] 이는 앞으로의 해결 과제라 하겠다.

참 고 문 헌

1. **Gill SS, Thomas DGT, Warrington AP, Brada M.** Relocatable frame for stereotactic external beam radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1991; 20:599-603
2. **Delannes M, Daly NJ, Bonnet J, sabatier J, Tremoulet M.** Fractionated radiotherapy of small inoperable lesions of the brain using a non-invasive stereotactic frame. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1991; 21:749-755
3. **Siddon RL, Barth NH.** Stereotactic localization of intracranial targets. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1987; 13:1241-1246
4. **Siddon RL.** Fast calculation of the exact radiological path for a three-dimensional CT array. Med Phys 1985; 12:138-144
5. **Sherouse GW, Novins K, Chaney EL.** Computation of digitally reconstructed radiographs for use in radiotherapy treatment design. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990; 18:651- 658
6. **Otto K, Fallone BG.** Frame slippage verification in stereotactic radiosurgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1998; 41: 199-205
7. **Schell MC, Wu A.** External beam stereotactic radiosurgery physics. In: Smith AR, ed. Radiation Therapy Physics. 1st ed. New York, NY : Springer-Verlag 1995:193-207

Abstract

Setup Verification in Stereotactic Radiotherapy Using Digitally Reconstructed Radiograph (DRR)

Byung Chul Cho, Ph.D, Do Hoon Oh, M.D. and Hoonsik Bae, M.D.

Department of Radiation Oncology, Kangdong Sacred Heart Hospital, Hallym University, Seoul, Korea

Purpose : To develop a method for verifying a treatment setup in stereotactic radiotherapy by matching portal images to DRRs.

Materials and Methods : Four pairs of orthogonal portal images of one patient immobilized by a thermoplastic mask frame for fractionated stereotactic radiotherapy were compared with DRRs. Portal images are obtained in AP (anterior/posterior) and lateral directions with a target localizer box containing fiducial markers attached to a stereotactic frame. DRRs superimposed over a planned isocenter and fiducial markers are printed out on transparent films. And then, they were overlaid ov er orthogonal portal images by matching anatomical structures. From three different kind of objects (isocenter, fiducial markers, anatomical structure) on DRRs and portal images, the displacement error between anatomical structure and isocenters (overall s etup error), the displacement error between anatomical structure and fiducial markers (immobilization error), and the displacement error between fiducial markers and isocenters (localization error) were measured.

Results : Localization errors were 1.5±0.3 mm (AP), 0.9±0.3 mm (lateral), and immobilization errors were 1.9±0.5 mm (AP), 1.9±0.4 mm (lateral). In addition, overall setup errors were 1.6±0.9 mm (AP), 1.3±0.4 mm (lateral). From these orthogonal displacement errors, maximum 3D displacement errors(sqrt{ (Delta AP) ^ 2 + (Delta Lat) ^ 2}) were found to be 1.7±0.4 mm for localization, 2.6±0.6 mm for immobilization, and 2.3±0.7 mm for overall treatment setup.

Conclusion : By comparing orthogonal portal images with DRRs, we find out that it is possible to v erify treatment setup directly in stereotactic radiotherapy.

Key Words : Stereotactic radiotherapy, DRR, Setup verification