사이버나이프의 Targeting 에러의 평가

가톨릭대학교 의과대학, *사이버나이프센터, †방사선종양학과, ‡신경외과,
§경기대학교 의학물리학과

장지선* · 강영남† · 이태규‡ · 최병옥† · 이경진‡ · 최일봉† · 김문찬‡ · 권수일§

사이버나이프를 이용한 두경부와 체부 등의 정위방사선수술에서는 목표점의 식별 및 위치 추적에 대하여 높은 정확성을 요구한다. 본 연구에서는 사이버나이프의 targeting의 정확성을 평가하고자 한다. 사이버나이프의 targeting의 정확성을 평가하기 위하여 두상 팬텀을 사용하였다. 환자 치료시와 동일한 CT 영상 프로토콜로 두상 팬텀의 영상을 얻어 치료계획을 세웠다. 팬텀에 radiochromic 필름을 삽입한 뒤 수립된 치료계획에 맞춰 팬텀에 방사선을 조사하였다. 방사선 조사시 위치 추적은 skull과 fiducial 추적의 두 가지 방법을 사용하였다. 방사선에 조사된 radiochromic 필름을 분석하여 정확성을 평가하였다. 본 연구를 통하여 실시간 영상유도 기술을 사용하는 사이버나이프는 약 1 mm의 targeting 에러를 보였다.

중심단어: 사이버나이프, 방사선수술, Radiochromic 필름

서 론

감마나이프나 선형가속기를 사용하는 정위방사선조사는 정상조직에 최소한의 선량을 주고 목표점에는 높은 선량의 방사선을 정확하게 조사하는 것을 목표로 한다. 이러한 기술로 프레임은 정확한 조사를 위해 환자의 머리를 고정시키는데 사용되었다. 환자의 두개골을 단단하게 고정시키기 위한 프레임은 목표물의 부피를 정확하게 정의하는 좌표시스템을 제공하며, 치료기계에 관계된 움직임으로부터 환자를 보호한다. 프레임을 사용하는 정위적 방법에 의한 방사선치료에서 불편한 점은 (1) 치료가 끝날 때까지 프레임이 제거될 수 없다는 것이고, (2) 환자가 경험하는 불편함으로 인하여 분할된(fractionated) 치료를 수행하기 어렵고, (3) 프레임은 머리 이외의 신체 부분에 쉽게 이용할 수 없다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Adler 등은 image-guided frameless 방사선 수술 장비인 사이버나이프를 개발하였다.

고정된 프레임을 사용하는 대신에, 사이버나이프는 두 개의 x-ray source와 두 개의 amorphous silicon detector가 있어 실시간 영상유도 기술을 이용하여 환자의 표적 병변의 위치를 파악한 후 실시간으로 추적-교정한다. 환자의 위치 추적은 실시간으로 얻은 fluoroscopic 영상과 CT 영상으로부터 준비된 계수형재구성방사선사진술(DRR; digitally reconstructed radiography)을 비교하여 수행한다.

사이버나이프를 이용한 두경부와 체부 등의 정위방사선수술에서는 목표점의 식별 및 위치 추적에 대하여 높은 정확성을 요구한다. 본 연구에서는 image-guided frameless 정위방사선수술 장비인 사이버나이프의 targeting의 정확성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

사이버나이프는 6개의 관절로 구성된 로봇팔에 6 MV의 에너지로 구성된 선형가속기가 부착되어 있다. 로봇팔은 6개의 자유도를 가지고 있으며 0.4 mm 이내의 높은 정확성을 보인다. 사이버나이프는 6개의 자유도를 가지고 약 1,200개의 빔을 만들어낸다. 이 중 평균적으로 사용하는 빔의 개수는 50~300개 정도인데 이는 각 환자의 병변의 모양과 크기 등에 따라 최적화하여 결정한다. 사이버나이프의 경우 하나의 isocenter를 가지고 치료하는 기존의 선형가속기를 이용한 방사선수술과는 달리 non-isocentric 방법으로 이용하여 방사선을 조사한다.

사이버나이프는 두 개의 x-ray source와 두 개의 amorphous silicon detector가 있어 실시간 영상유도 기술을 이용하여 환자의 표적 병변의 위치를 파악한 후 실시간으로 추적-교정한다. 두경부의 경우 skull을 위치 추적의 기준으로 정하고 있으며 체부의 경우 기존의 frameless 방사선수술에서 사용한 방법과 동일한 원리로 몸 속에 삽입된 금속표식자의 위치를 추적하여 실시간으로 확인하면서 치료한다.

사이버나이프의 targeting의 정확성을 평가하기 위하여 두상 팬텀을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 두상 팬텀은 5개의 fiducial 마커가 삽입되어 있고 radiochromic 필름을 삽입할 수 있도록 구성되어 있다. 팬텀 테스트는 치료계획에서의 목표점의 선량 분포와 방사선이 조사된 필름의 선량분포를 비교하기 위하여 수행하였다.

환자 치료시와 동일한 CT 영상 프로토콜로 두상 팬텀을 1 mm 두께의 횡단면 영상을 얻었다. 얻어진 팬텀의 CT영상을 이용하여 치료 계획을 세웠다. 팬텀의 목표점의 크기는 31.75 mm이므로 치료계획시 30 mm 콜리메이터를 사용하여 70% 등선량곡선에 30 Gy의 선량을 주었다. 팬텀에 radiochromic 필름을 삽입한 뒤 수립된 치료 계획에 맞추어 팬텀에 방사선을 조사하였다. 방사선 조사시 위치 추적은 skull 추적 및 fiducial 추적의 두 가지 방법을 사용하였다. 조사된 필름은 필름스캐너로 스캔하였고 얻어진 필름의 70% 등선량 곡선을 치료계획의 등선량 곡선과 비교 분석하였다. 또한 본 연구에서는 사이버나이프 제작사(Accuray, Inc)에서 제공하는 팬텀 테스트(E2E test; End to End Test)와 비교하기 위하여 본 기관의 자체적인 필름 테스트를 수행하였다.

결 과

skull 추적 및 fiducial 추적의 두 가지 방법으로 조사된 radiochromic 필름을 분석하여 사이버나이프의 targeting의 정확성을 분석하였다. targeting 에러는 조사된 필름의 선량 분포에서 얻은 좌표에서 팬텀내 목표점의 좌표를 감하여 계산하였다. 사이버나이프 제작사(Accuray, Inc)에서 제공한 팬텀 테스트(E2E test)의 결과 skull 추적의 경우 0.7786 mm, fiducial 추적의 경우 1.426 mm의 targeting 에러를 보였다. 이와 비교하여 시행한 필름 테스트에서 skull 추적의 경우 1.266 mm, fiducial 추적의 경우 1.438 mm의 targeting 에러를 보였다.

결 론

본 연구를 통하여 skull 및 fiducial 추적을 이용하여 실시간 영상유도 기술을 사용하는 사이버나이프의 targeting 정확성이 약 1 mm임을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력중장기 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Adler JR Jr, Murphy MJ, Chang SD, Hancock SL: Image-guided robotic radiosurgery. Neurosurgery 44:1299-307 (1999)
2. Chang SD, Main WT, Martin DP, Gibbs IC, Heilbrun MP: An analysis of the accuracy of the CyberKnife: A robot frameless stereotactic radiosurgical system. Neurosurgery 52:140-7 (2003)
3. Martin JM, Richard SC: The accuracy of dose localization for an image-guided frameless radiosurgery system. Med Phys 23:2043-9 (1996)
4. Murphy MJ: An automatic six-degree-of-freedom image registration algorithm for image-guide frameless stereotactic radiosurgery. Med Phys 24:857-66 (1997)
5. Cheng Y, Main W, Taylor D, Kuduvalli G, et al: An anthropomorphic phantom study of the accuracy of CyberKnife spinal radiosurgery. Neurosurgery 55:1138-49 (2004)