

토모테라피의 Exit Sinogram을 이용한 치료 정확성 검증

최원훈 정경근 정윤선 조재호 서창옥*
연세대학교 의과대학 방사선종양학과
E-mail: wonhoon@yuhs.ac

중심어 (keyword) : 토모테라피, Exit sinogram, 포탈 선량 측정

서론

방사선 치료는 개복(開腹)없이 체내의 종양에 대하여, 국소적인 치료를 행하는 특성 상, 실제 종양에 대한 선량을 집중하는 것과 손상위험장기 (Organ at risk; OAR)에 대한 누출을 막는 것이 중요하다. 또한, 보통 한달 정도의 치료기간을 갖기에, 치료 기간 중의 몸의 변화나 종양의 변화에 의한 치료정확도의 훼손을 판단하는 판단기준 또한 중요성이 점차 증대되고 있으나, 실제 직접적인 치료 정보를 이용한 임상적인 수단은 전무하며, 추가적인 CT를 통해 몸의 변화를 통해 추정 혹은 부분적으로 계산해낼 뿐이다.[1]

환자에게 입사된 방사선량과 빠져나온 방사선량을 통해 환자에게 흡수된 실제 선량을 계산하는 것을 조사문 선량측정 (Portal dosimetry)라고 한다.[2] 이는 실제 치료에서의 정보를 이용하는 특성 상 이상적인 생체 선량측정 (in-vivo dosimetry)을 구현하는 가장 유력한 방법으로 평가되어지고 있다.

조사문 선량측정에 관한 연구는 최근 10년간 전자 조사문 영상 장치(Electronic Portal Imaging Device)를 사용하여 많은 연구들이 이루어지고 있다. 하지만 치료에서 받은 측정 신호들을 다양한 이론을 이용하여 근사와 변환을 통해 3차원 선량분포를 모사해내고, 치료계획과의 차이를 비교해, 치료 오차를 산출해내는 방법[3]으로 많이 접근되었으며, 방대한 계산량과 변환과정 상의 오차와 치료과정에서 발생하는 오차의 구별이 쉽지 않은 단점이 있어 현재 임상에서의 적용은 전무한 실정이다.

본 연구는 최첨단 방사선 치료 장치인 토모테라피 (Tomotherapy, Tomotherapy USA) 치료 시 발생되

는 Treatment verification sinogram (TVS)를 이용하여, 매 분할 치료 간의 정확성의 훼손을 판단하여, 적응 방사선 치료에 적용키 위한 방법론을 제시하는 것을 그 목적으로 한다. 기존의 연구들의 측정된 신호의 변환 이후 치료계획과 비교하는 오차분석방법에서 벗어나, 치료과정의 신호간의 오차를 먼저 직접 구해내고, 이를 변환하는 방법으로 접근하여, 치료오차를 분석하기 위한 방법을 사용하여, 오차의 모호성을 제거하였다.

재료 및 방법

TVS는 토모테라피 치료 시 환자를 치료한 모든 방사선에 대해 MVCT detector를 통해 측정되는 Exit beam에 대한 정보로, CT의 raw data인 sinogram의 형태로 저장된다.

우리는 방사선 분할 치료간의 치료 셋업 및 선량전달의 오차를 분석하기 위해 휴먼모사팬텀 (Rando Phantom)을 이용하여, 고의적인 오차(단순 수평 이동, 복합 수평 이동, 뒤틀림)를 인가하여, 그에 대한 TVS 신호의 변화를 측정하였다.

변환과정 상의 오차를 없애기 위해, 그 비교 대상을 TVS 신호 자체로 한정하고, 각각의 움직임에 따른 변화를 기준 TVS와의 비교를 통해, 오차 TVS를 구해내어 분석하였다.

오차 TVS는 선량적인 오차를 보기 위한 방법으로 그림 1 (a)와 같은 (1) 차이 (Differential) TVS 와 그림 1(b)와 같은 (2) 외곽선-강조 (Edge-enhanced) 의 두가지 방법으로 접근하여, 각각 선량 분포 상의 오차와 셋업 오차를 분석하도록 하였다.

분석 방법으로는 오차 TVS를 직접적으로 히스토

그래픽화하여 분석하는 방법 (Histogram method)과 Back-projection 변환을 사용하여 3차원 영상으로 재구성하는 방법 (Reconstruction method)을 통해 오차를 분석하였다.

결과 및 고찰

고의적으로 주어진 수평 이동 오차에 대하여, 오차 TVS는 그림 1(a)에서처럼 다양한 형태의 sinusoidal trace를 만들며, 측정되었다. 하지만, 전체 각도에 대해 평탄한 조사를 하는 영상용 방사선에 비해 치료용 방사선은 종양만을 표적으로 조사하는 특징이 있어, 종양 이외의 부위(그림에서 흰색의 배경 부분)의 정보는 그 신호가 작게 나타났다.

이에, 기준 TVS로 normalize 하여, 외곽선 강조를 통해, 모든 영역의 신호를 증폭하였다. 이러한 외곽선 강조는 기준 치료 환경과 같은 위치에서의 밀도 차이가 큰 부분에서 선량의 감쇄가 급격한 차이를 드러내는 것에 기인하는 것으로 주로 환자 몸의 변화나, 피부 외곽선, 혹은 체내 공동의 변화를 민감하게 반영하는 것으로 나타났다.

그림 2 는 휴먼모사팬텀의 골반 부위에 대해, 각각의 TVS (복합 오차; AP : 1cm, LR : 1cm) 를 back-projection 변환을 이용하여 3차원 영상으로 재구성한 영상의 동일 횡단면 (transverse slice) 이다. 변환은 부호의 보존을 위하여, CT의 변환과정을 보완하여 적용하였다.

결과물의 공간적 해상도는 200x200으로 그리드를 설정하고 변환시, 2mm의 해상도로서 주어진 오차들에 대해, 2mm 이내의 오차범위를 가지며 변환되었지만, 변환 이전의 TVS에서의 비교가 더 높은 정확성을 가지는 것으로 평가되었다.

결론

우리는 조사문 선량측정을 통해, 토모테라피 방사선 치료의 실제치료의 정보를 이용하여, 정확성과 신뢰도를 평가하는 방법론을 제시했다.

기존의 복잡한 신호 변환 과정을 거쳐 치료계획과 비교를 하는 것에서 탈피하여, 치료오차를 직접적으로

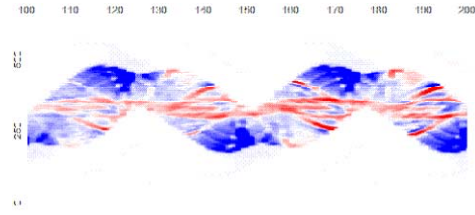
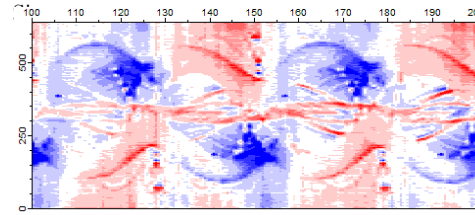


그림 1 (a) Differential Treatment Verification



(b) Edge-enhanced Treatment Verification Sinogram.

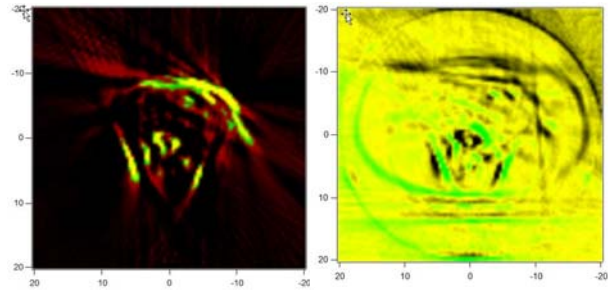


그림 2 Reconstructed transverse image for (a) differential TVS, and (b) edge-enhanced TVS.

구하여 오차의 뒤섞임을 방지하고, 계산부담을 경감시켰다.

향후 계산속도 향상 및 관련 소프트웨어 개발의 노력을 통해, 임상 적용에 가능한 수준으로의 발전이 가능할 것으로 예상된다.

참고 문헌

1. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., The utility of megavoltage computed tomography images from a helical tomotherapy system for setup verification purpose (2004).
2. Phys. Med. Bio., Patient-specific dosimetry of conventional and intensity modulated radiation therapy using a novel full Monte Carlo phase space reconstruction method from electronic portal images, (2007).
3. Med. Phys., Verification of helical tomotherapy delivery using autoassociative kernel regression (2007).