

동 팬텀과 초음파 센서를 이용한 호흡운동 조절 방사선치료 기술 개발

고려대학교 의과대학 방사선종양학교실,
†국민건강보험공단 일산병원 방사선종양학과, †국립암센터 양성자센터

이 석 · 이상훈[†] · 신동호[†] · 양대식 · 최명선 · 김철용

폐, 간 등의 상 복부에 위치한 종양의 방사선 조사 체적은 호흡에 의한 종양의 이동을 포함하기 때문에 방사선 조사 체적이 증가되어 방사선 독성 및 정상조직 선량이 증가하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 동 팬텀과 초음파 센서를 이용하여 호흡운동에 의한 환자 체표면의 움직임을 획득하고, 획득한 데이터의 역 값을 이용해 환자침대를 조절해줄 수 있는 호흡운동 조절 방사선치료 기술을 개발하고자 한다. 호흡운동에 의한 환자 체표면의 움직임을 평가하기 위해 제작한 팬텀은 조정기(BS II, 20 Mhz, 8K Byte), 센서(Ultra-Sonic, range 3 cm~3 m), Computer(RS232C), Servo Motor (Torque 2.3 Kg)등으로 구성하였고, 제어와 구동을 위한 획득-보정-분석 프로그램을 작성하였다. 최대 2 cm 범위 내에서 팬텀을 움직이게 하였고, 팬텀의 움직임과 보정이 순차적으로 일어나도록 프로그램 하였으며, x, y, z가 연속적으로 움직이도록 구성하였다. 임의의 움직임 데이터(유격이 2 cm이 되도록 하여 3차원 데이터 형태)를 입력하여 동 팬텀을 조정하고, 동시에 팬텀 움직임을 초음파 센서를 이용하여 획득한 후, 두 데이터 간의 비교, 분석을 시행하였다. 이후 쥐(Guinea-pig, about 500g)를 이용하여 호흡운동에 의한 환자 체표면의 움직임을 획득한 후 획득한 데이터의 역 값으로 팬텀을 구동시킴으로써 실시간 호흡운동 조절 방사선치료 기술을 평가하였다. 팬텀 실험에서 3 차원 입력 데이터에 대한 팬텀 보정 데이터 간의 정확성을 시간에 대한 거리 값으로 비교한 결과 $\pm 1\%$ 이내의 정확성을 알 수 있었고, 이에 필요한 보정시간은 2.34×10^{-4} 초임을 알 수 있었다. 또한 동물 실험에서도 동일한 방법으로 시간에 대한 거리 그래프와 획득-보정 간의 지연 시간 등을 분석한 결과 팬텀 데이터와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 팬텀, 동물 실험 모두에서 시간에 대한 거리 값과 각각의 경우에 획득-보정 간의 지연 시간을 분석한 결과 데이터 값은 $\pm 1\%$ 이내에서 일치하였으며, 데이터 획득-보정 지연 시간은 2.34×10^{-4} 초 이내 즉, 실시간으로 얻을 수 있어 새로운 호흡운동 조절 방사선치료 기술의 임상적용에의 가능성을 확인할 수 있었다.

중심단어: 호흡운동조절 방사선치료 기술, 동 팬텀, 체표면 움직임, 초음파센서, 방사선치료

서 론

폐, 간 등의 상 복부에 위치한 종양의 방사선 조사 체적은 호흡운동에 의한 종양의 이동을 포함하기 때문에 조사 체적이 증가되어 방사선 독성 및 정상조직 선량이 증가하고, 환자 자세의 변화로 인해 종양의 정확한 위치 파악이 어렵게 된다. 따라서 병소 부위의 정확한 위치 파악을 실시하여 대 선량을 표적에 집중적으로 투입할 수 있는 시스템이 요구된다. 본 연구에서는 동 팬텀과 초음파센서를 이용하여 환자 체표면의 움직임을 획득 하고, 획득한 데이터의 역 값을 이용해 환자침대를 조절해줄 수 있는 호흡운동 조절 방사선치료 기술을 제시함으로써 범용성과 정확성 등을 고려한 국내실정에 적합한 호흡운동 조절 방사선 치료 기술을 개발하고자 한다.

대상 및 방법

1. 실험과정

3차원 움직임을 획득, 보정하기 위해 모터(servo motor, torque 2.3 Kg)와 초음파센서(Ultra-Sonic, range 3 cm~3 m)를 이용하여 동 팬텀(moving phantom)을 제작하였다. 입력 데이터는 임의의 움직임 데이터(유격이 2 cm이 되도록 하여 3차원 데이터 형태)를 입력하여 동 팬텀을 조정하고, 동시에 팬텀 움직임을 초음파 센서를 이용하여 획득한 후, 두 데이터 간의 비교, 분석을 시행하였다. 데이터는 초당 40회의 초음파 데이터로 획득하였다. 획득한 데이터는 조정기(Basic stamp microcontroller II, 20 Mhz, 8K Byte)를 통해 제어되고, 제어된 데이터는 팬텀을 구동시

키기 위한 구동 프로그램(Microsoft Visual Basic 6.0, Microsoft access)에 의해 구동된다. 이상과 같은 방법으로 움직임의 획득 데이터와 보정 데이터를 데이터베이스화함으로써 동 팬텀의 정확성과 지연시간을 확인하였다. 이후 동일한 방법으로 쥐(Guinea-pig, about 500g)를 이용하여 호흡운동에 의한 환자 체표면 움직임 데이터의 획득-보정 실험을 시행하였다.

2. 동 팬텀(moving phantom) 제작

호흡운동에 의한 환자 체표면의 움직임을 평가하기 위해 제작한 팬텀은 조정기(BS II, 20 Mhz, 8K Byte), 센서(Ultra-Sonic, range 3 cm~3 m), PC(RS232C), Servo Motor (Torque 2.3 Kg)등으로 구성하였고, 제어와 구동을 위한 획득-보정-분석 프로그램(Microsoft Visual Basic 6.0, Microsoft Access)을 작성하였다. 최대 2 cm 범위 내에서 팬텀을 움직이게 하였고, 팬텀의 움직임과 보정이 순차적으로 일어나도록 프로그램 하였으며, x, y, z가 연속적으로 움직이도록 구성하였다. 정밀도 확보를 위해 Servo Motor를 사용하였고, Rack & Pinion의 기계구조를 사용하여 안정성을 확보하였으며, 센서부의 조정기와 팬텀 부분을 무선으로 연결하여 동 팬텀이 자체적으로 움직일 수 있게 하였다.

3. 동물 실험

팬텀실험과 동일한 방법으로 쥐 (Guinea-pig, about 500 g)의 호흡운동을 획득-보정하였다. 쥐의 주기적인 호흡에 의한 체표면의 움직임 데이터를 얻고자 국부마취를 시킨 후 시행하였고, 데이터는 총 80초 동안 획득하였으며, 제어/구동 프로그램 상에서 획득-보정 데이터를 순차적으로 표시하도록 하였다. 데이터의 정확성과 지연시간 평가를 위해 시간에 대한 3축의 거리 변화 그래프와 3차원 공간상에서의 분포 그래프를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 데이터 획득-보정 프로그램 및 획득-보정 지연시간

센서 데이터 획득-보정 프로그램: 데이터 획득-보정 프로그램은 움직임 데이터(좌표값)를 실시간으로 확인할 수 있는 좌표값 표시 부분과 영역 이탈 모니터링 창 부분 그리고, 초기값과의 차이를 평가 할 수 있는 부분 등으로 작성하였다. 최종 데이터는 통계 프로그램(Microsoft Excel)을 통해 획득-보정 시 좌표값의 정확성과 지연시간을 평가할 수 있게 작성하였다. 또한, 팬텀의 정도관리를 위한 팬텀실험이 가능하도록 작성하였다.

센서 데이터 획득-보정 지연 시간 (acquisition-correction delay time): 획득-보정 지연시간은 센서모듈이 음파를 방출-수신하는 시간과 조정기가 보정하는 시간(3축에 대해 두 번 반복과 순차적으로 보정하는데 걸리는 시간)의 합인 (1)식으로 계산할 수 있다. 지연시간은 2.34×10^{-4} 초 이었다.

$$\text{Minimum Delay Time} = (((10\mu\text{s} + 10 \text{ ms}) \times 3) + (8 \mu\text{s} \times 3 \times 2)) \times 3(*) \text{----- (1)}$$

2. 팬텀실험

팬텀실험에서 3차원 입력데이터에 대한 팬텀 보정 데이터 간의 정확성을 시간에 대한 거리 값으로 비교한 결과 각 방향별(X: 좌우(right-left, lateral), Y: 상하(superior-inferior, SI), Z: 전후(anterior-posterior, AP))로 획득-보정 데이터가 일대일 대응되는 것을 알 수 있었다. 호흡에 의한 예상 움직임을 2 cm 유격으로 하였고, 데이터 획득-보정 데이터는 각 20회, 총 40회 데이터를 얻었다. 그리고 팬텀 데이터를 3차원 공간상에 표시하여 방향별 움직임 추세를 시각적으로 평가할 수 있도록 작성하였다.

3. 동물실험

쥐의 호흡운동에 의한 체표면의 움직임 획득 데이터와 획득 데이터의 역 값으로 만든 보정 데이터의 변화를 시간에 대한 변위 그래프로 나타내었다. 획득-보정 데이터는 총 80초 동안 획득하였고, 차이를 보여주기 위해 30

초~40초 데이터를 확대해서 나타내었다. 획득 데이터는 좌우, 상하 방향의 움직임은 거의 없었고, 전후 방향의 움직임은 최대 5 mm 움직였으며, 1.1초 주기의 호흡주기를 알 수 있었다. 획득-보정 데이터간의 정확성을 시간에 대한 거리 값으로 비교한 결과 각 방향별로 일대일 대응되는 것을 알 수 있었다. 그리고 획득-보정 지연시간은 (1)식에 의해 2.34×10^{-4} 초임을 알 수 있었다.

고안 및 결론

동 팬텀과 초음파센서를 이용하여 환자 체표면의 움직임을 획득 하고, 획득한 데이터의 역 값을 이용해 환자침대를 조절해줄 수 있는 호흡운동조절 기술을 개발함으로써 팬텀, 동물 실험에 대한 시간에 대한 거리 값과 각각의 경우에 획득-보정 간의 지연 시간을 분석한 결과 데이터 값은 $\pm 1\%$ 이내에서 일치하였으며, 데이터 획득-보정 지연 시간은 수 초 이내 즉, 실시간으로 얻을 수 있어 새로운 호흡운동조절기술의 임상적용에의 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 시스템의 증점은 실시간 보정이 가능한가에 달려 있다. 이를 위해서는 획득-보정에 소요되는 시간을 최대한 줄일 수 있는 추가 연구가 요구된다. 또한 동 데이터를 획득하는데 무엇보다 중요한 것은 센서이다. 초음파센서가 가지고 있는 고유의 제한점들을 해결하기 위해서는 자기센서나 적외선 센서 등의 센서 연구가 필요할 것이라 생각된다. 향후 선량학적 연구와 임상평가 항목 설정 등의 임상연구를 추가한다면 임상에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. S. S. Vedam, P. J. Keall, V. Kini, et al. Determining parameters for respiration gated radiotherapy. Med. Phys 2001;28:2139-2146
2. S. Lee, JS. Seong, YB. Kim, et al. Use of respiratory motion reduction device(RRD)in treatment of hepatoma. J. Korean Soc Ther Radiol Oncol 2001;19(4):319-326
3. SB. Jiang, et al. An experimental investigation on intra-fractional organ motion effects in lung IMRT treatments. Phys. Med. Biol 2003;48:1773-1784
4. Y. Suh, B. Yi, S. Ahn, et al. Aperture maneuver with compelled breath(AMC) for moving tumors: A feasibility study with a moving phantom. Med. Phys 2004;31(4):760- 766
7. H. Shirato, S. Shimizu, T. Kunieda, et al. Physical aspects of a real-time tumor tracking system for gated radiotherapy. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys 2000;48:1187- 1195

Development of Respiration Gating RT Technique using Moving Phantom and Ultrasound Sensor: a feasibility study

Suk Lee, Ph.D., Sang Hoon Lee, M.S.[†], Dongho Shin, Ph.D.[†],
Dae Sik Yang, M.D., Myung Sun Choi, M.D., Chul Yong Kim, M.D.

Department of Radiation Oncology, Korea University Medical Center, Seoul, Korea

[†]*Department of Radiation Oncology, Ilsan Hospital, Gyeonggi-do, Korea*

[‡]*Center for Proton Therapy, National Cancer Center, Gyeonggi-do, Korea*

In radiotherapy of tumors in liver, enough planning target volume (PTV) margins are necessary to compensate breathing-related movement of tumor volumes. To overcome the problems, this study aims to obtain patients' body movements by using a moving phantom and an ultrasonic sensor, and to develop respiration gating techniques that can adjust patients' beds by using reversed values of the data obtained. The phantom made to measure patients' body movements is composed of a microprocessor (BS II, 20 MHz, 8K Byte), a sensor (Ultra-Sonic, range 3 cm~3 m), host computer (RS232C) and stepping motor (torque 2.3 Kg) etc., and the program to control and operate it was developed. The program allows the phantom to move within the maximum range of 2 cm, its movements and corrections to take place in order, and x, y and z to move successively. After the moving phantom was adjusted by entering random movement data (three dimensional data form with distance of 2cm), and the phantom movements were acquired using the ultra sonic sensor, the two data were compared and analyzed. And then, after the movements by respiration were acquired by using guinea pigs, the real-time respiration gating techniques were drawn by operating the phantom with the reversed values of the data. The result of analyzing the acquisition-correction delay time for the three types of data values and about each value separately shows that the data values coincided with one another within 1% and that the acquisition-correction delay time was obtained real-time (2.34×10^{-4} sec). This study successfully confirms the clinic application possibility of respiration gating techniques by using a moving phantom and an ultra sonic sensor. With ongoing development of additional analysis system, which can be used in real-time set-up reproducibility analysis, it may be beneficially used in radiotherapy of moving tumors.

Key Words: respiration gating radiation therapy technique, moving phantom, patient' body movement, ultra-sonic sensor, radiotherapy