

팬텀을 이용한 전산화 단층촬영방법에 따른 재현성에 대한 고찰

국립암센터 양성자치료센터

최재혁 · 정도형 · 최계숙 · 장요종 · 김재원 · 이희석

목 적: 전산화 단층촬영방법(Computed Tomography, CT)에 따라 고식적(Axial), 나선식(Helical), 연속(Cine) 주사방법으로 획득되어진 영상은 주사방법이 다르므로 각각의 재현되는 이미지 상에서 차이가 존재 한다. 각각의 전산화 단층촬영 주사방법(scan type)이 움직임을 얼마나 정확히 묘사하는지 알아보고자 구동 팬텀을 이용하여 재현성에 대해 고찰해 보고자 한다.

대상 및 방법: 상·하 방향, 위·아래 방향 움직임을 재현하기 위해 자체 제작한 구동 팬텀과 호흡동조 구동 motor를 이용한다. 구동 motor 위에 표지자를 올려놓고 전산화 단층촬영 시 움직임을 구별하기 위해 표지자에 위치 표시를 위한 방사선 비투과성 물질(Localizer)을 부착한다. 자체 제작한 구동 팬텀을 이용하여 위·아래 움직임은 1.3 cm (16회/1분당)으로 고정 시키고, 호흡동조 구동 motor를 이용하여 상·하 움직임은 0.2 cm (8 rot/1분당)으로 고정 한다. 각각의 움직임을 고정 시키고 난 후, 전산화 단층 촬영 방법에 따라 고식적(Axial), 나선식(Helical), 연속(Cine) 주사방법으로 촬영한다. RPT 장비를 이용하여 움직임을 나타내는 표지자에 부착한 방사선 비투과성 물질과 볼륨 재현성이 정확한지 비교, 분석 한다.

결 과: 표지자의 전체 체적은 88.2 cm³로 위·아래 방향 3 cm, 상·하 방향 0.3 cm 이동을 고려했을 때는 전체 체적이 184.3 cm³이었다. 각각의 전산화 단층촬영방법에 따른 전체 체적은 고식적 주사방법에서는 135 cm³, 나선식 주사방법에서는 164.9 cm³, 연속 주사방법에서는 181.7 cm³였다. 움직임에 대한 재현성을 나타내는 데 있어 연속 주사방법에서 가장 근접하게 표지자를 묘출 하였다. 또한, 표지자에 부착한 방사선 비투과성 물질의 재현성에서도 연속 주사방법에서 가장 근접하게 나타내었다.

결 론: 전산화 단층촬영방법에 따른 고식적, 나선식, 연속 주사방법은 움직임에 영향을 많이 받는 장기를 촬영할 때, 움직임에 따른 정확한 장기 묘사 및 종양 조직의 움직임을 재현해야 한다. 본 실험에서 사용한 구동 팬텀을 이용한 표지자를 재현하는데 있어 전산화 단층촬영 시 연속 주사방법에서 촬영 할 때 가장 재현성이 높았다. 하지만, 임상 적용 시 환자의 호흡이나 움직임이 팬텀처럼 일정하지 않기 때문에 이를 위한 환자 교육 및 호흡을 일정하게 해줄 수 있는 장치의 사용 및 개발이 필요하며, 각각의 전산화 단층촬영방법에 대한 피폭선량에 대해서도 고려해야 할 것이라 사료 된다.

핵심용어: 전산화 단층촬영방법, 구동 팬텀, 호흡주기, 재현성 평가

서 론

주위 건강조직의 손상 없이 종양에만 방사선을 집중조사하기 위하여 3차원 입체조형치료(3-dimensional conformal radiotherapy: 3D-CRT)나 강도변조방사선치료(intensity modulated radiation therapy: IMRT)에 비해 종양에 효과적으로 정확하게 고선량을 조사하여 종양 제어율을 향상시키면서 동시에 주변 정상 조직에 발생할 수 있는 부작용을 최소화하기 위한 첨단 방사선 치료법들이 등장 하였다.¹⁾ 방사선치료가 빠른 속도로 발전하면서 정확한 위치 추정과 적절한 여유 설정이 매우 중요한 과제로 등장하였다. 충분한 치료 여유를

둘 때는 종양 억제확률(Tumor Control Probability: TCP)이 증가 할 수 있으나, 건강조직손상확률(Normal Tissue Complication Probability: NTCP)의 증가가 예상되게 된다.²⁾ 충분한 여유를 둘 경우 경계 여유가 작기 때문에 자세 오차나 장기 움직임이 발생하면 지리적 과오가 생길 가능성이 크기 때문에 적절한 경계 여유를 설정하는 것이 중요하다.³⁾ 정상 조직의 부작용을 최소화 하고 종양에만 고선량을 주기 위해 적절한 치료 여유를 설정하게 되는데, 이때 자세 오차나 장기 움직임이 발생하면 장기 위치에 따라 변화가 생길 가능성이 크다.³⁾ 치료계획 및 조사방법 등의 기술이 비약적으로 발전하면서 방사선치료는 더욱 복잡하게 되었으며, 이에 따라 고도의 정확성과 정밀성이 요구되고 있다. 전산화단층촬영(computed tomography, CT)의 영상기술이 발표된 이래 기존의 방사선 사진에 비해 조직 간의 구별이 뚜렷해지고 있으

이 논문은 2007년 6월 11일 접수하여 2007년 8월 5일 채택되었음.
책임저자 : 최재혁, 국립암센터 양성자치료센터
Tel: 031)920-0365, Fax: 031)920-0149
E-mail: 5980517@hanmail.net

며, 최근의 발전된 전산화 단층촬영장비들로 인해 촬영시간이 매우 단축되었다.⁴⁾ 종래의 고식적 전산화 단층촬영은 환자가 각 촬영마다 횡격막을 항상 같은 위상에서 유지하며 호흡을 정지하기가 어려워 하루 폐야나 간 내 소결절성 종괴가 누락 또는 중복 촬영되는 오동록 인공영상이 생길 가능성이 존재한다.⁵⁾ 그러나, 현재는 X-선관이 한 방향으로 고속 회전하면서 연속촬영이 가능한 나선식 전산화 단층촬영의 개발과 Detector의 발전으로 영상 재구성이나 검사 시 짧은 시간에 촬영할 수 있게 되었다. 호흡에 따른 움직임이 있는 장기에서 병변의 크기가 작거나 폐의 기저부위, 혹은 간의 상부에 위치한 종양일수록 호흡으로 인한 위치변화와 주사(scan)시 왜곡 정도가 크고, 이에 치료해야 할 표적이 치료범위에서 벗어나거나 정상조직에 과도한 방사선이 조사될 수 있으므로 치료효율이 낮아지거나 방사선에 의한 부작용이 증가할 수 있다(Fig. 1).⁴⁾ 특히, 호흡으로 인해 움직임이 있는 장기에 있어 호흡에 따른 움직임으로 생긴 오동록 영상

은 방사선 치료 효율을 떨어뜨리고 있다. 방사선 치료 시 자세 오차, 장기의 움직임도 고려하여 설정해야 하는 어려움이 있는데, 기존의 전산화 단층촬영방법으로 환자를 촬영할 경우, 호흡주기에 의해 촬영되어지는 순간에 따라 움직이는 장기의 영상 모출이 어려움이 있다.³⁾ 본 연구에서는 자체 제작한 구동 팬텀을 사용하여 호흡주기에 따라 획득된 영상을 재현 하였으며, 표지자의 움직임을 반영하는 정도를 측정하여 재현성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

본 실험에 사용된 장비는 GE Lightspeed RTCT, 자체 제작한 구동 팬텀, 움직임을 나타내는 위치 표시 표지자와 호흡동조 구동 Motor, Pinnacle RT system을 사용하였다. 본원을 내원한 환자 중 호흡으로 인한 움직임이 있는 폐, 복부 환자를 대상으로 하였으며, CT 모의촬영 전 환자의 호흡에 의한

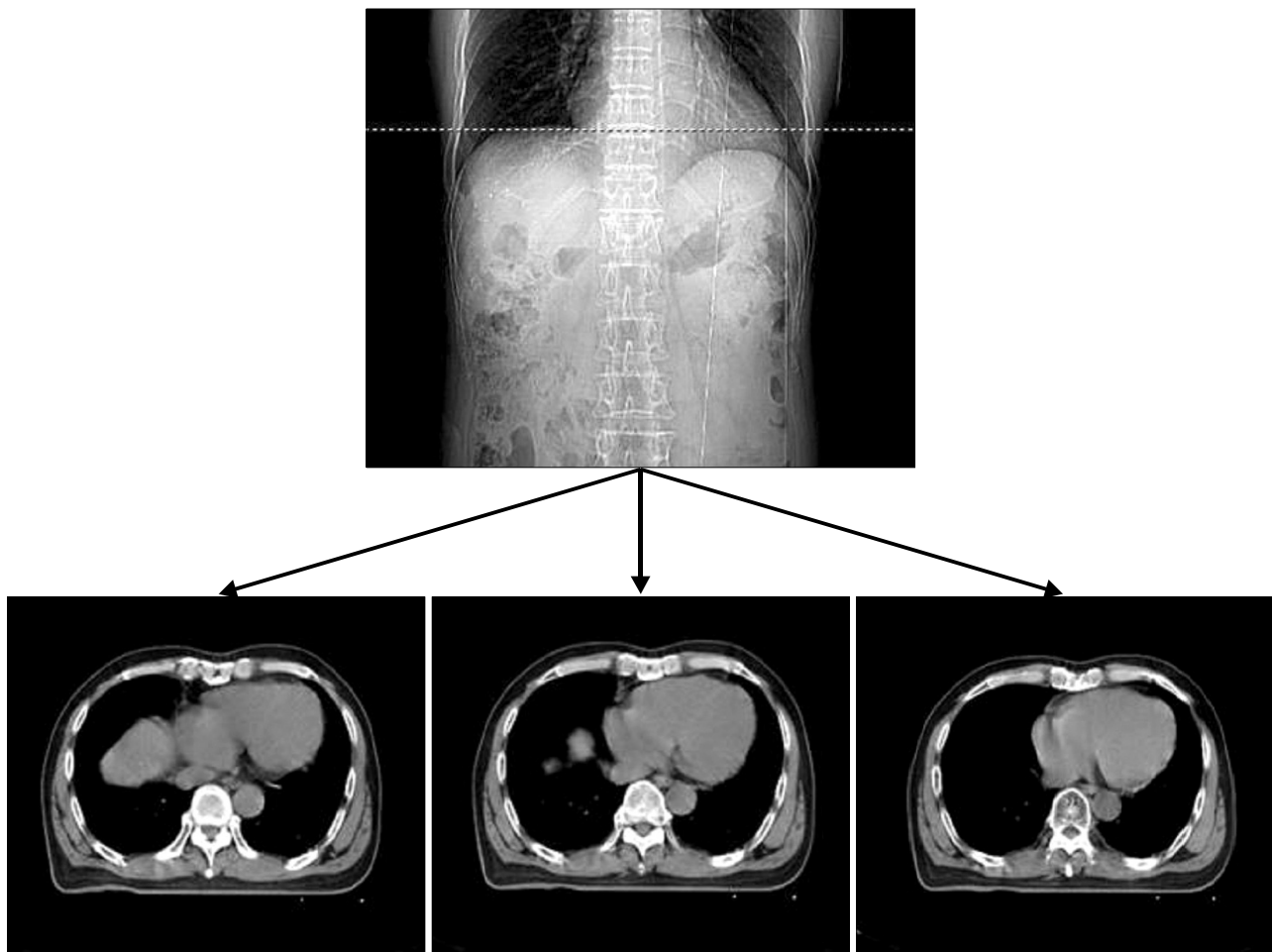


Fig. 1. CT scan reveals the position on each respiration cycle.

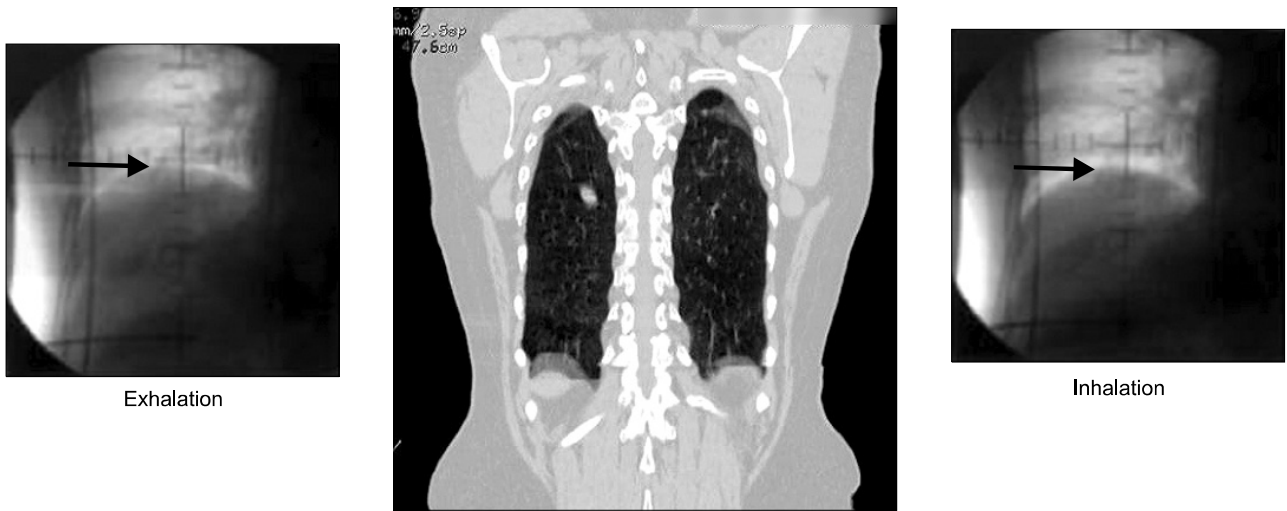


Fig. 2. Cine fluorography for movement of diaphragm by respiratory cycle with inspiration and exhalation.

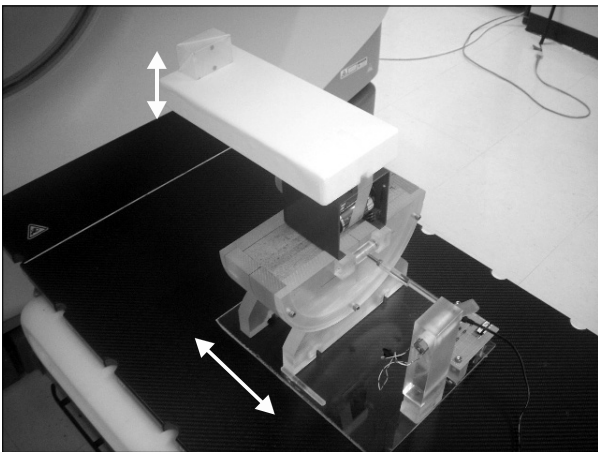


Fig. 3. The manufactured moving phantom.

움직임을 확인하기 위하여 모의촬영실의 투시검사(Fluoroscopy)를 이용하여 환자의 흡기와 배기를 각각 측정하였다(Fig. 2). 측정된 수치를 이용하여 본 연구에서 실험하고자 자체 제작한 구동 팬텀에 움직임을 적용하였다. 구동 motor 위에 표지자를 올려놓고 전산화 단층촬영 시 움직임을 구별하기 위해 표지자에 위치표시를 위한 방사선 비투과성 물질을 부착하였다. 구동 팬텀의 움직임은 위·아래 방향으로 1.3 cm·분당 16회의 왕복운동, 상·하 방향으로 0.3 cm·분당 8회의 회전 운동을 할 수 있게 설정하였다(Fig. 3). 호흡에 따른 움직임을 자체 제작한 모형 팬텀에 적용하여 각각의 전산화 단층촬영방법에 따라 고식적(Axial), 나선식(Helical), 연속(Cine) 주사방법으로 촬영하고, RPT 장비를 이용하여 움직임을 반영하는 모형과 체적의 재현성이 정확하지 비교,

분석 한다. 각각의 전산화 단층촬영에 따른 촬영 조건은 다음과 같이 관전압 120 KV, 관전류 200 mA, 절편 두께와 절편 두께사이의 간격은 2.5 mm, Inter scan delay 1.3, Pitch는 1로 동일하게 하였다. 움직임을 고정 시키고 난 후, 전산화 단층촬영방법에 따라 고식적, 나선식, 연속 주사방법으로 촬영하여 각각의 획득된 영상 중 다른 시기의 영상에서 동일하지 않은 영상이 있는 경우를 대상으로 하여, 임의로 병변이 두 절편 이상 사라진 경우의 영상과 동일 영상이 연속되거나 상하 영상이 역전된 경우의 영상을 분류하여 본 실험의 재현성 평가에는 이용하지 않았다(Fig. 4).

결 과

전산화 단층촬영(CT scan)하여 획득된 영상 중 고식적 주사방법에서는 총 40개의 영상 중 26개, 나선식 주사방법에서는 총 41개의 영상 중 35개, 연속 주사방법에서는 총 200개의 영상 중 192개의 영상을 나타내었으며, 고식적 주사방법은 65%, 나선식 주사방법은 85%, 연속 주사방법은 96%의 재현성을 나타내었다(Fig. 5)(Table 1).

각각의 주사 방법에 따른 위치표시 표지자의 영상 연속성 비교는 3회 측정 시 평균으로 하였으며, 고식적 주사방법은 73.8%, 나선식 주사방법은 83.3%, 연속 주사방법은 94.5%의 연속성을 나타내었다(Table 2).

또한 주사 방법에 따른 표지자에 부착된 위치표시를 위한 방사선 비투과성 물질의 영상 연속성 비교에서도 고식적 주사방법은 73.8%, 나선식 주사방법은 80%, 연속 주사방법은 92.5%의 연속성을 나타내었다(Table 3).

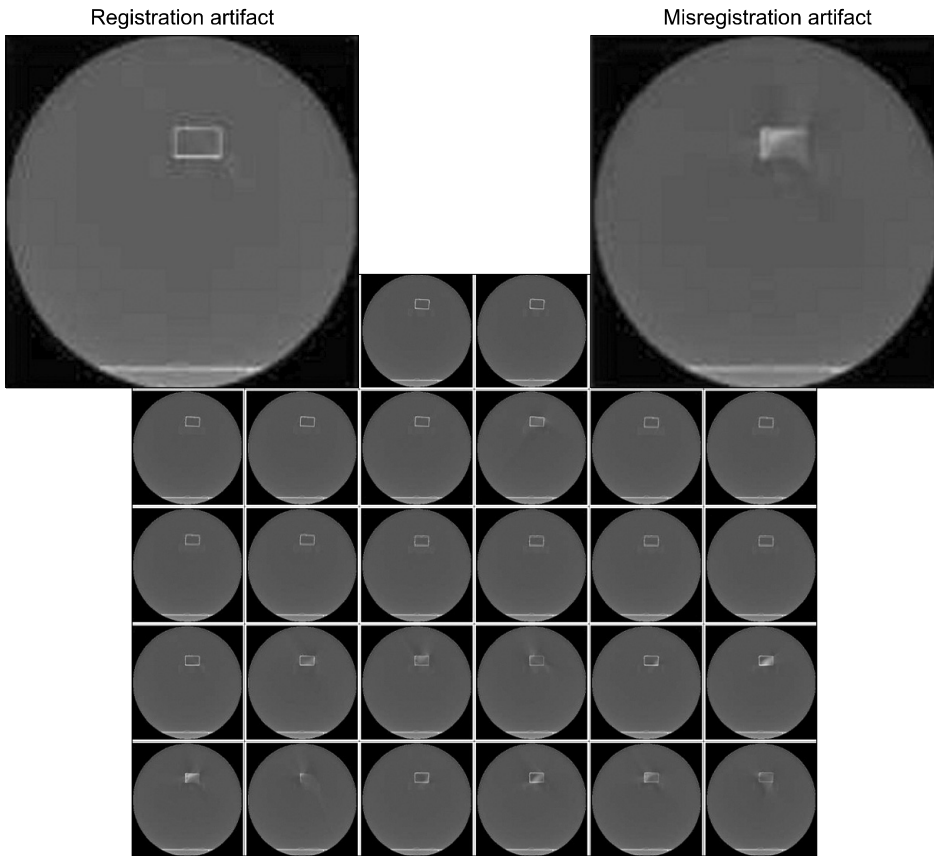


Fig. 4. Compared with registration artifact and misregistration artifact due to motion on CT of the moving phantom.

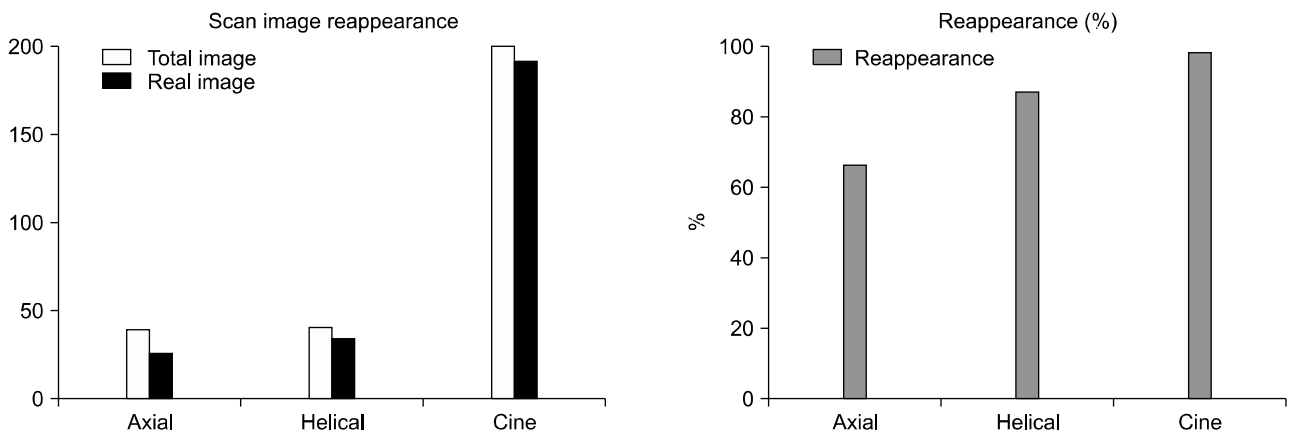


Fig. 5. Paired samples show that appearance valuation for different CT scan type image by total image and real image.

Fig. 5는 표지자에 부착된 위치표시를 위한 방사선 비투과성 물질의 영상을 주사한 후, 재구성한 DRR (Digital Reconstruction Radiography) 영상이다. 앞서서와 유사하게 각각의 주사방법에 따른 체적비교 역시 고식적 주사방법은 71%, 나선식 주사방법은 87%, 연속 주사방법은 95.5%를 나타내었다

(Table 4).

고안 및 결론

전산화 단층촬영방법에 따라 획득된 영상의 시간적 차이는 있지만, 가장 재현성 높은 영상의 주사방법(scan type)은

Table 1. Paired samples show that appearance valuation of scan image

Scan type	Total image	Real image
Axial	40	26
Helical	41	35
Cine	200	192

Table 2. A continuity comparison of different CT scan type for marker image

	1st	2nd	3rd	(%)
Axial	14/21	16/21	15/20	73.8
Helical	17/20	16/20	17/20	83.3
Cine	87/95	85/90	88/90	94.5

Table 3. A continuity comparison of different CT scan type for localizer image

	1st	2nd	3rd	(%)
Axial	14/21	16/20	15/20	73.8
Helical	16/20	16/20	16/20	80
Cine	87/95	86/90	86/95	92.5

Table 4. A continuity comparison of different CT scan type for marker volume

	1st	2nd	3rd	Average	AVE./ total area (%)
Axial	119.1 cm ³	122.7 cm ³	163.2 cm ³	135 cm ³	71
Helical	164.5 cm ³	167.2 cm ³	162.9 cm ³	164.9 cm ³	87
Cine	181.2 cm ³	183.1	180.8 cm ³	181.7 cm ³	95.5

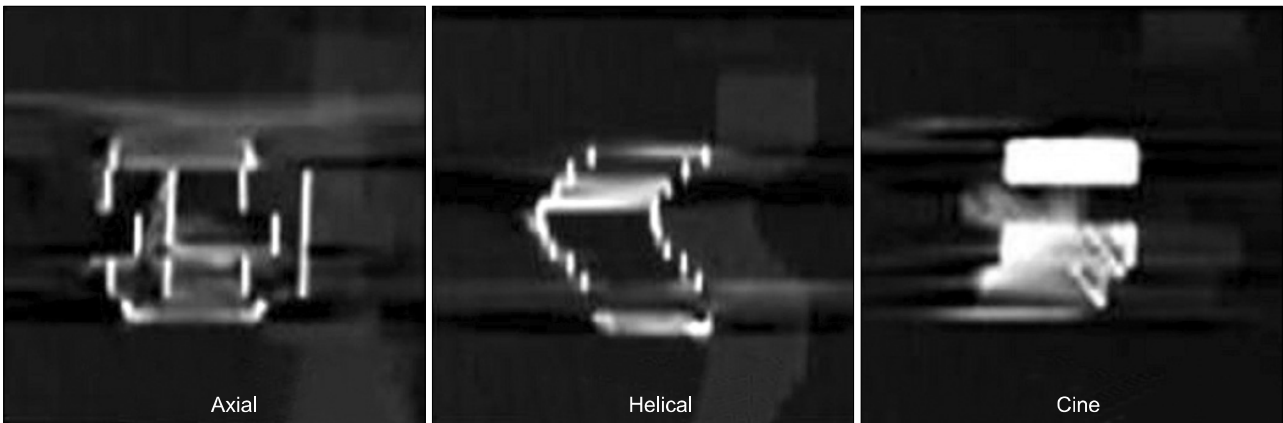


Fig. 6. Localizer reconstruction DRR image.

연속 주사방법이었다. 주사시간(Scan time)이 가장 빠른 나선식 주사방법에서는 빠른 시간 내에 장기의 영상을 표현할 수 있으나, 호흡으로 인한 움직임이 큰 부위에서는 움직임을 정확히 표현할 수 없다.²⁾ 호흡에 따른 종양의 움직임을 보상하기 위해 여러 방법이 시행되고 있으며, 이러한 움직임을 보상하기 위해 인위적으로 움직임을 조절하거나 억제하는 방법을 통해 움직임을 최소화해야 한다.⁶⁾ 하지만, 환자의 호흡을 제한 혹은 조절하는 방법은 환자의 불편함을 증가시킴으로서 치료의 재현성을 감소시키게 된다(Fig. 6). 본원에서는 호흡으로 영향을 받는 환자의 치료 시 치료 여유를 두기 위해 호흡동조 시스템(RPM respiration gating system)을 이용한다. 호흡동조 시스템을 이용한 영상획득은 시간에 따른

동적 움직임을 고려하거나 종양퇴행에 따른 적응치료를 가능하게 하지만, 촬영 시간이 긴 연속 주사방법에서 촬영 시간경과에 따라 불규칙한 특성을 가지는 환자의 호흡을 정확히 예측할 수 없다는 단점이 있어 이를 보완 할 수 있도록 적절한 전산화 단층촬영방법과 시간을 고려한 주사 좌우인자(scan parameter)를 설정하여 재현성을 높일 수 있는 방법을 고려해 촬영해야 한다.^{7,9)} 하지만, 영상 획득에 따른 선량을 증가시켜 치료부위 이외의 방사선 피폭량도 증가시키는 결과를 초래하기 때문에 방사선 치료과정에서 영상 획득 시 발생하는 환자의 피폭선량을 정량적으로 분석하고 더불어 그것을 감소시키는 노력이 필요할 것이라고 사료된다. 즉, 전산화 단층촬영방법에 따른 선량이 다르므로 환자의 피폭선

량도 고려해야 할 것이다.^{8,10)} 본 연구에서는 전산화 단층촬영 방법에 따른 재현성평가에 움직임이 일정한 구동 팬텀을 이용하였지만, 실제 임상에 적용 시, 환자의 호흡에 따른 종양의 움직임을 충분히 반영할 수 있는 영상 획득방안을 모색하여 치료의 재현성을 높이면서 정상 조직의 부작용을 감소시키고,⁷⁾ 치료효율을 증가 시킬 수 있도록 노력해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김수산, 하성환, 최은경 등: 전산화단층촬영 주사시간(Scan time)이 폐종양운동의 재현성에 미치는 영향 분석. 대한방사선종양학회지 2004;22:55-63
2. Jochem WH, Wolthaus MSC, Jan-Jakob S, et al.: Comparison of difference strategies to use four-dimentional computed tomography in treatment planning for lung cancer patient. Int J Radiation Oncology Biol Phys 2007;70:1229-1238
3. 박수영, 박희진, 김 홍 등: 간 나선식 CT에서 보이는 호흡에 의한 오등록 인공영상의 분석. 대한방사선의학회지 2001;44: 201-207
4. Cox TD, White KS, Effmann EL: Comparison of helical and conventional chest CT in the uncooperative pediatric patient. Pediatr Radiol 1995;25:347-349
5. Stapakis J, Stamm E, Townsend R, Thickman D: Liver volume assessment by Conventional vs. Helical. Abdominal Imaging 1995;20:209-210
6. 정원규, 조정길: 폐부위 planning Target Volume (PTV) 설정시 폐 움직임의 객관적 측정. 대한방사선종양학회지 1997;15: 387-392
7. Steve B Jiang, John Wolfgang, Gig S Mageras: Quality assurance challenges for motion-adaptive radiation therapy: gating, breath holding, and four-dimensional computed tomography. Int J Radiation Oncology Biol Phys 2008;71:S103-S107
8. Jurik AG, Jensen LC, Hansen J: Radiation dose by spiral CT and conventional tomography of the sternoclavicular joints and the manubrium sterni. Skelatal Radiology 1996;25:467-470
9. Jeremy DP, Hoisak MSC, Katharina ES, et al.: Correlation of lung tumor motion with external surrogate indicators of Respiration. Int J Radiation Oncology Biol Phys 2004;60: 1298-1306
10. Linton OW, Mettler FA Jr: National council on radiation protection and measurements. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. AJR Am J Roentgenol 2003;181:321-329

Abstract

A Study for Reappearance According to the Scan Type, the CT Scanning by a Moving Phantom

Jae Hyock Choi, Do Hyeong Jeong, Choi Gye Suk, Yo Jong Jang, Jae Weon Kim, Hui Seok Lee

Center for Proton National Cancer Center, Goyang, Korea

Purpose: CT scan shows that significant tumor movement occurs in lesions located in the proximity of the heart, diaphragm, and lung hilus. There are differences concerning three kinds of type to get images following the Scan type called Axial, Helical, Cine (4D-CT) mode, when the scanning by CT. To know how each protocol describe accurately, this paper is going to give you reappearance using the moving phantom.

Materials and Methods: To reconstruct the movement of superior-inferior and anterior-posterior, the manufactured moving phantom and the motor following breathing were used. To distinguish movement from captured images by CT scanning, a localizer adhered to the marker on the motor. The moving phantom fixed the movement of superior-inferior upon 1.3 cm /1 min. The motor following breathing fixed the movement of anterior-posterior upon 0.2 cm /1 min. After fixing each movement, CT scanning was taken by following the CT protocols. The movement of A localizer and volume-reappearance analyzed by RTP machine.

Results: Total volume of a marker was 88.2 cm³ considering movement of superior-inferior. Total volume was 184.3 cm³. Total volume according to each CT scan protocol were 135 cm³ by axial mode, 164.9 cm³ by helical mode, 181.7 cm³ by cine (4D-CT) mode. The most closely describable protocol about moving reappearance was cine mode, the marker attached localizer as well.

Conclusion: CT scan should reappear concerning a exact organ-description and target, when the moving organ is being scanned by three kinds of CT protocols. The cine (4D-CT) mode has the advantage of the most highly reconstructible ability of the three protocols in reappearance of the marker using a moving phantom. The marker on the phantom has always regular motion but breathing patients don't move like a phantom. Breathing education and devices setting patients were needed so that images reconstruct breathing as exactly as possible. Users should also consider that an amount of radiation to patients is being bombed.

Key words: CT scan type, moving phantom, respiration cycle, reappearance test