

Cone-Beam CT에서 물질 및 호흡 변화가 영상에 미치는 영향에 대한 고찰

서울아산병원 방사선종양학과

나준영 · 김정미 · 김대섭 · 강태영 · 백금문 · 권경태

목적: 본원에서 시행하고 있는 영상유도 방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)는 On-Board Imager system (OBI)을 이용하여 실시하고 있다. 본 논문에서는 Cone-Beam CT에서 물질 및 호흡의 변화가 영상에 미치는 영향을 분석하고 평가하고자 한다.

대상 및 방법: 호흡의 모양을 임의로 조정할 수 있는 구동 팬텀(Motion Phantom)을 이용하여 기준 호흡에 따른 주기, 진폭, 기저호흡(Baseline)을 변화시키면서 폐 등가 물질 내의 지름 3 cm인 구 형태의 아크릴(Acryl)과 임상에 이용되고 있는 표지자(Fiducial Marker) 두 물질에 대하여 Cone-Beam CT를 총 3회 획득하고, 분석하였다.

결과: 첫 번째 물질의 종류에 따라 구동 팬텀의 동일한 움직임을 원형 아크릴(Acryl)일 때 100%, 표지자일 때 120% 나타내었다. 두 번째 기준 호흡 변화에 따라 기준 호흡의 영상크기를 1로 상쇄(Offset)하면 원형 아크릴(Acryl)의 경우 기저호흡(Baseline)을 1.8 mm 이동시켰을 때 1.13, 3.3 mm 이동시켰을 때 1.27, 주기가 1초일 때 1.01, 2.5초일 때 1.045, 진폭이 기준의 0.7배일 때 0.86, 1.7배일 때 1.43의 변화를 보였고, 표지자의 경우 Baseline 1.8 mm shift일 때 1.18, 3.3 mm shift일 때 1.34, 주기가 1초일 때 1.0, 2.5초일 때 1.0, 진폭이 기준의 0.7배일 때 0.99, 1.7배일 때 1.66의 변화를 보였다.

결론: Cone-Beam CT는 물질에 따라 그 움직임을 나타내는 것에 Fiducial marker의 경우 영상 크기에 20%의 영향이 있었다. 호흡의 변화에 따른 영향은 아크릴(Acryl)의 경우 최소 13% 최대 43%, Fiducial marker의 경우 최소 18% 최대 66%의 변화를 보였다. 이런 영상의 차이는 큰 불확실성 요인이므로 Cone-Beam CT 획득 전에 환자의 호흡을 안정화해야 한다. 또한 영상 획득 중간에도 지속적인 환자의 호흡 관찰을 하여 환자의 큰 호흡변화를 관찰하였다면 영상유도 후에 반드시 투시를 이용하여 치료부위를 확인할 필요가 있으며 재 Cone-Beam CT 획득을 통하여 보다 정확한 영상유도를 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

핵심용어: cone-beam CT, 영상유도 방사선 치료, 기저호흡, 주기, 진폭

서론

방사선치료는 종양에는 최대한의 선량을 주고 주변의 정상조직에 들어가는 선량을 최소한으로 줄이는 목적으로 그동안 많은 치료 방법들이 발전해 나가고 있다. 그 중 하나가 영상유도 방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)이다. 현재 방사선치료에 있어서 영상유도 방사선치료를 빼놓고 생각할 수 없을 정도로 영상유도 방사선치료는 기존 치료방법보다 종양을 보다 정확하게 치료할 수 있고, 종양의 여유폭(margin)을 줄일 수 있는 등의 많은 장점을 가지고 있다.¹⁻³⁾

본원에서 사용하고 있는 의료형 선형가속기(CLINAC iX, VARIAN, USA)의 영상유도 방법은 On-Board Imager system

(OBI, Varian, USA)을 이용하여 2D-2D match, Marker match, 획득한 Cone-Beam CT를 이용하여 치료 계획을 위하여 획득한 CT와 3D-3D match를 이용하고 있다.

영상유도 방사선치료의 기준이 되는 Cone-Beam CT가 정확하지 않다면 정확한 영상유도를 할 수 없다. 본 연구에서는 물질과 호흡의 변화에 따라 Cone-Beam CT에 미치는 영향을 분석하고 평가하고자 한다.^{4,6)}

대상 및 방법

1. 실험재료

- 의료형 선형가속기(CLINAC iX, VARIAN, USA)
- QUASAR Programmable Respiratory Motion Phantom (Moudus Medical Device Inc. CANADA)
- QUASAR Multi-Purpose Body Phantom (Moudus Medical Device Inc. CANADA)

이 논문은 2012년 1월 27일 접수하여 2012년 3월 5일 채택되었음.
책임저자 : 나준영, 서울아산병원 방사선종양학과
Tel: 02)3010-4413, Fax: 02)3010-6905
E-mail: metalzone02@naver.com

- Offline Review Version 8.8 (VARIAN, USA)
- Fiducial Marker
- Cedar Lung Tumour Insert (acryl)

2. 실험방법

Cone-Beam CT에 호흡의 다양한 변화가 영상에 미치는 영향을 반영할 수 있도록 QUASAR Programmable Respiratory Motion Phantom (Moudus Medical Device Inc. CANADA)과 QUASAR Multi-Purpose Body Phantom (Moudus Medical Device Inc. CANADA) (Fig. 1)을 이용하였으며, 물질의 변화에 따라 영상에 미치는 영향을 반영하도록 임상에 사용하고 있는 표지자(Fiducial Marker) (Fig. 2)와 Lung 내 tumor를 반영할 수 있도록 Cedar Lung Tumour Insert (acryl) (Fig. 3)를 이용하였다.

기준 호흡을 주기(Period)가 1.5초, 진폭(Amplitude)이 1 cm 설정하였다(Fig. 4). 이 기준 호흡에 다양한 변화를 주기 위하여 기저호흡(Baseline) (Fig. 5), 주기(Fig. 6), 진폭(Fig.

7)에 변화를 주었다. 변화를 준 시점은 Cone-Beam CT 획득 시간인 60초를 기준으로 호흡의 변화가 Cone-Beam CT 획득 전반에 균등하게 반영될 수 있도록 15초 단위로 기준 호흡과 변화를 준 호흡으로 번갈아 가면서 변화를 주었다. 다양한 호흡의 변화는 기저호흡의 경우 기준 호흡으로 움직이다가 1.8 mm, 3.3 mm 이동(shift)을 시켰고, 주기는 1초와 2.5초로, 진폭은 기준 대비 0.7배, 1.5배의 변화를 주어 motion phantom의 움직임의 변화를 만들었다. 물질은 두 종류로 폐 등가 물질 내의 지름 3 cm인 구 형태의 아크릴(Acryl)과 임상에 이용되고 있는 Fiducial Marker를 이용하였다.

이와 같이 물질 및 호흡변화를 만들어 의료용 선형가속기 (CLINAC iX, VARIAN, USA)의 On Board Imager System을 이용하여 Cone-Beam CT를 총 3회씩 획득하였다. 획득한 Cone-Beam CT 영상은 Offline Review Version 8.8 (VARIAN, USA) (Fig. 8)를 이용하여 분석하였다. 측정 시 사람의 눈으



Fig. 1. QUASAR programmable respiratory motion phantom (Moudus Medical Device Inc. CANADA).

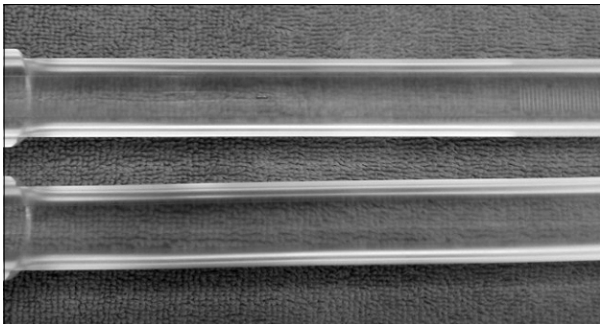


Fig. 2. Fiducial marker (gold, 3 mm length).

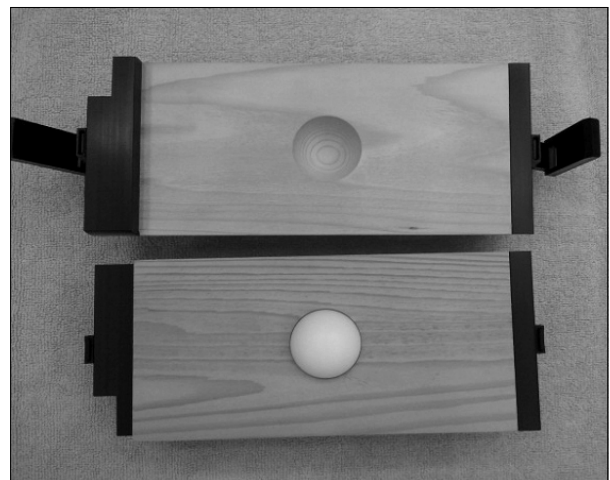


Fig. 3. Cedar lung tumour insert (acryl, 3 cm diameter).

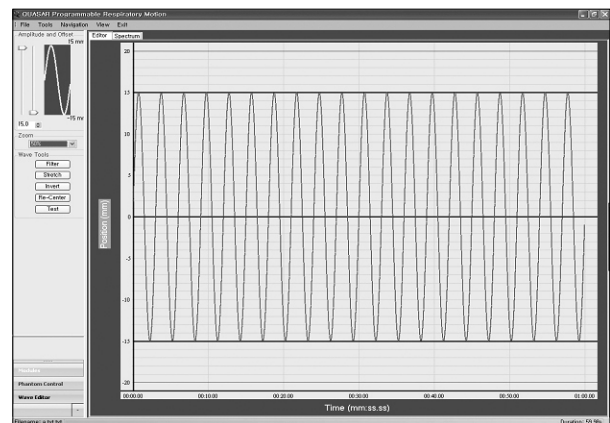


Fig. 4. Reference respiration.

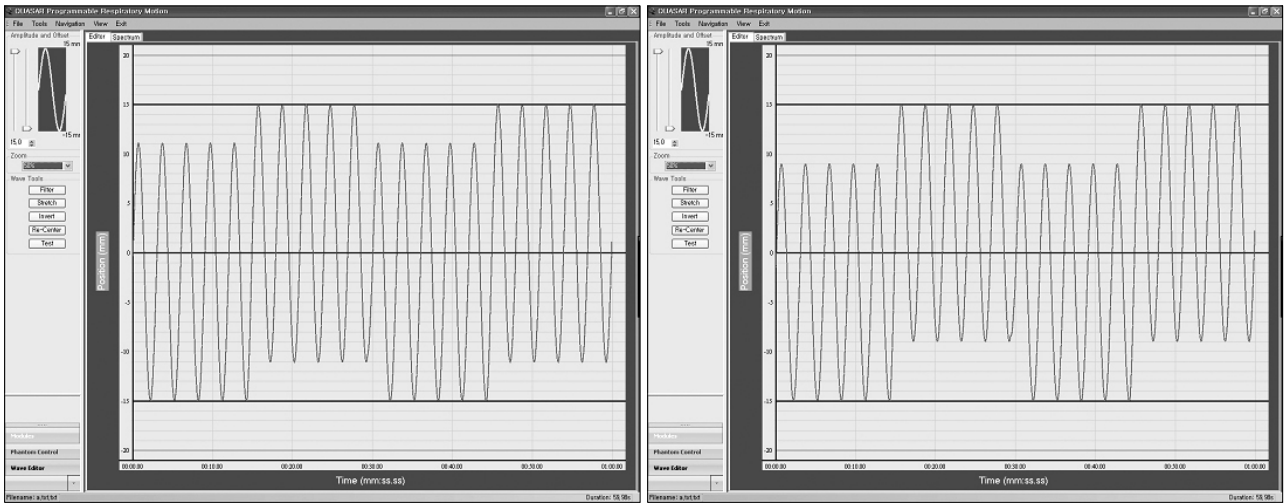


Fig. 5. Variation of respiration (baseline).

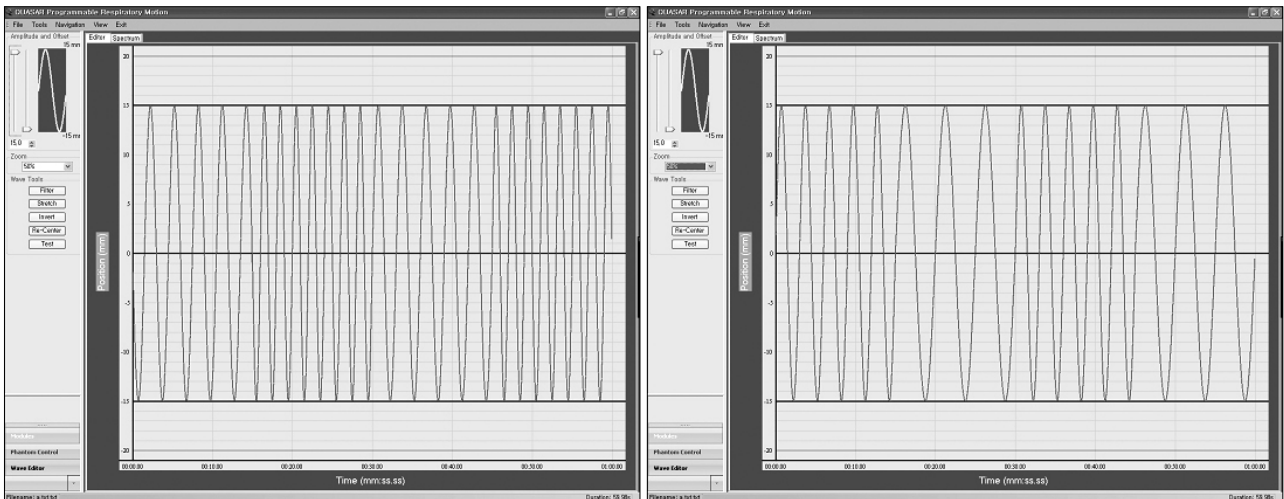


Fig. 6. Variation of respiration (period).

로 길이를 측정하기 때문에 발생할 수 있는 오차를 최소화 할 수 있도록 영상의 Window width를 arcy1의 경우 Full range HU로 조정하였으며, marker의 경우 0 - 최대(maximum)로 하였다. 또한 Ruler만을 이용하여 길이를 측정하지 않고 Line profile을 함께 이용하여 보다 정확하게 길이를 측정하였다.

결 과

첫 번째 아크릴(Arcyl)구와 표지자(Fiducial Marker)를 기준으로 정한 호흡(주기[Period] 1.5초, 진폭[Amplitude] 1 cm)으로 움직이면서 획득한 Cone-Beam CT를 분석한 결과 아크릴(Arcyl) 구는 실제의 크기와 같은 5 cm의 측정크기 나

타내어 motion phantom의 움직임을 100% 나타내었고, Fiducial Marker의 경우 2 cm의 실제 크기를 2.6 cm의 측정 크기를 나타내어 실제보다 30% 큰 변화를 나타내었다(Table 1).

두 번째 호흡의 변화에 따른 영향으로 기준호흡일 때의 획득한 Cone-Beam CT 영상을 1.0로 offset을 주어 변경된 호흡에 따라 획득된 영상을 비교하였다. 아크릴(Arcyl) 재질의 구는 기준호흡일 때와 비교하여 기저호흡(Baseline)이 1.8 mm 이동 되었을 때 1.13, 3.3 mm 이동 되었을 때 1.27 변화를 보였다. 주기가 1초로 변화되었을 때 1.01, 2.5초인 경우 1.045 변화를 보였다. 진폭이 기준의 0.7배로 변화되었을 때 0.86, 1.7배인 경우 1.43의 변화를 보였다. 금(Gold) 재질의 Fiducial

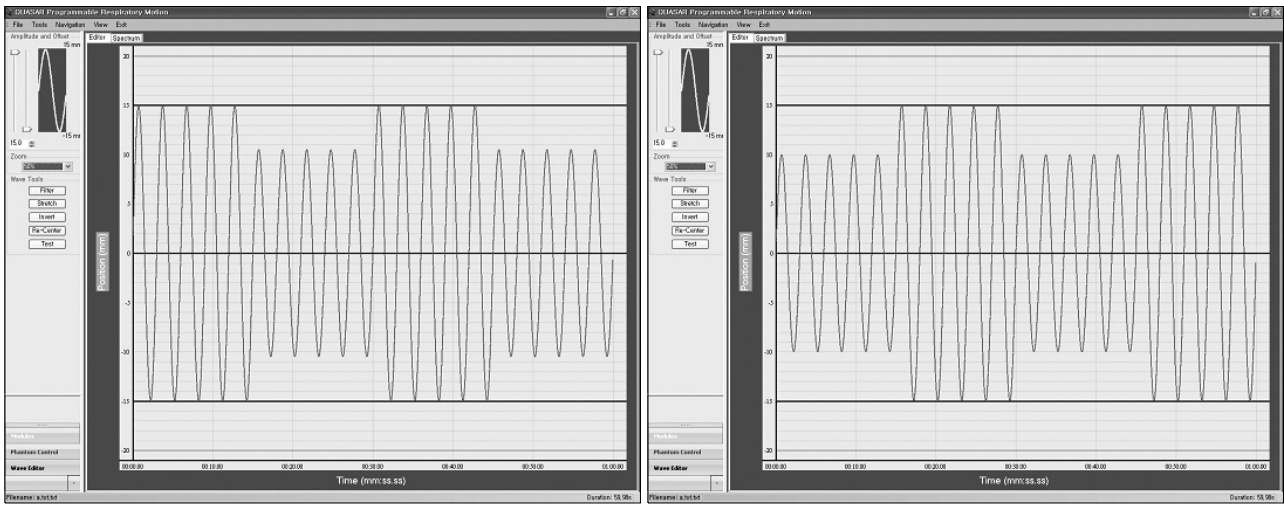


Fig. 7. Variation of respiration (amplitude).

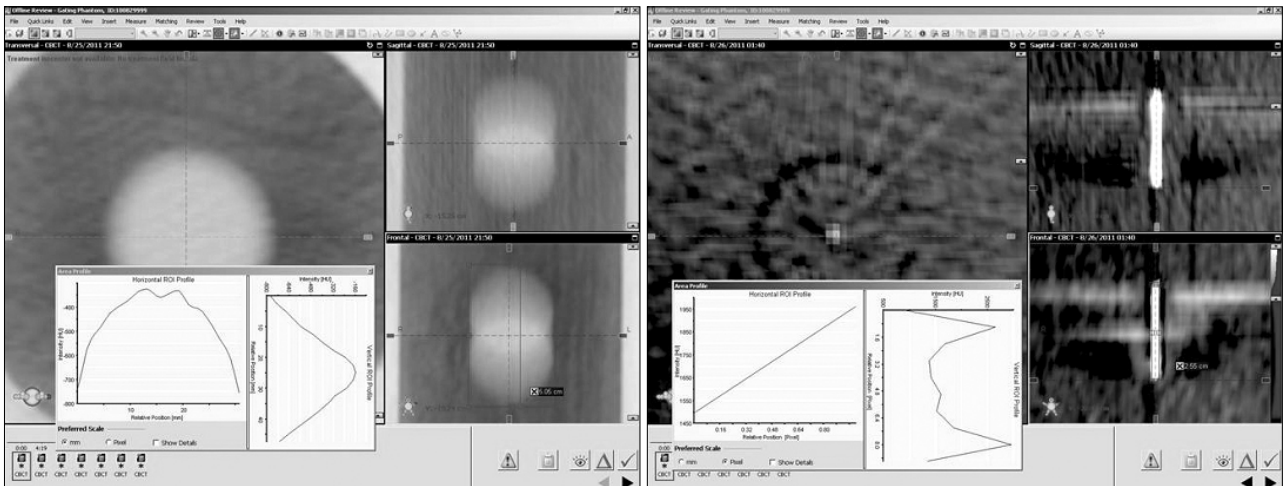


Fig. 8. Offline review version 8.8.

Table 1. The effect of cone-beam CT image according to variation of material

	Physical size (cm)	Image size (cm)
Acryl	5	5
Fiducial marker	2	2.6

Marker의 경우 기준일 때와 비교하여 기저호흡(Baseline)이 1.8 mm 이동 되었을 때 1.18, 3.3 mm 이동 되었을 때 1.34 변화를 보였다. 주기가 1초로 변화되었을 때 1.0, 2.5초인 경우도 1초와 같은 1.0 변화를 보였다. 진폭이 기준의 0.7배로 변화되었을 때 0.99, 1.7배인 경우 1.66의 변화를 보였다 (Table 2).

Table 2. The effect of cone-beam CT image according to variation of respiration

	Acryl	Fiducial marker
	Image size (cm)	
Reference	1	1
Baseline 1.8 mm	1.13	1.18
Baseline 3.3 mm	1.27	1.34
Period 1 sec	1.01	1
Period 2.5 sec	1.05	1
Amplitude	0.85	0.99
0.7 magnification		
Amplitude	1.43	1.66
1.7 magnification		

Reference image=1 offset.

Table 3. The effect of image center in cone-beam CT according to variation of respiration

	Acryl	Fiducial marker
	Center shift (cm)	
Reference	0	0
Baseline 1.8 mm	0.15	0.11
Baseline 3.3 mm	0.21	0.16
Period 1 sec	0.01	0
Period 2.5 sec	0.02	0.01
Amplitude	0.01	0.01
0.7 magnification		
Amplitude	0.01	0.01
1.7 magnification		

세 번째 호흡의 변화에 따라 영상 중심(Image center)의 변화는 Image center의 변화가 있는 기저호흡 변화(Baseline shift)의 경우를 제외하고 아크릴(Arcyl), Fiducial marker 모두 모든 조건에서 0.017 cm 이하의 변화를 보여, 가정된 결과가 맞음을 확인 할 수 있었다. 기저호흡(Baseline)이 1.8 mm 이동 되었을 때 아크릴(Arcyl), Fiducial marker 모두 0.1 cm 정도의 변화를 보였으며, 기저호흡(Baseline)이 3.3 mm 이동 되었을 때 아크릴(Arcyl)의 경우 0.21 cm, Fiducial marker의 경우 0.16 cm의 Image center의 변화를 보였다 (Table 3).

네 번째 호흡의 변화에 따라 기존 호흡과 변경된 호흡의 중첩비율(Overlap percentage)에 따른 Cone-Beam CT 영향은 각 Overlap percentage에 따른 이미지 크기(Image size)를 측정하여 선형 회귀분석을 통하여 영향을 분석하였다. 아크릴(Arcyl)의 경우 Overlap percentage에 따라 결정계수 R 제곱값이 0.492의 결과를 얻었으며, Fiducial marker의 경우 R 제곱값이 0.003의 결과를 얻었다. 얻은 결과를 통하여 아크릴(Arcyl)의 경우 Overlap percentage에 따라 이미지 크기(Image size)에 영향이 있음을 알 수 있었고, Fiducial marker의 경우 Overlap Percentage에 따라 이미지 크기(Image size)에 영향이 없음을 알 수 있었다(Fig. 9).

고안 및 결론

Cone-Beam CT는 동일한 움직임에서 물질에 따라 그 움직임을 나타내는 것에 영향이 있음을 알 수 있었다. Fiducial marker의 경우 실제의 움직임 보다 Cone-Beam CT 영상에서 측정된 크기는 20% 정도의 영향이 있었다. 또한 기존호흡에서 호흡의 변화에 따른 Cone-Beam CT 영상의 영향은 아크릴(Arcyl)의 경우 최소 13% 최대 43%의 차이를 보였으며,

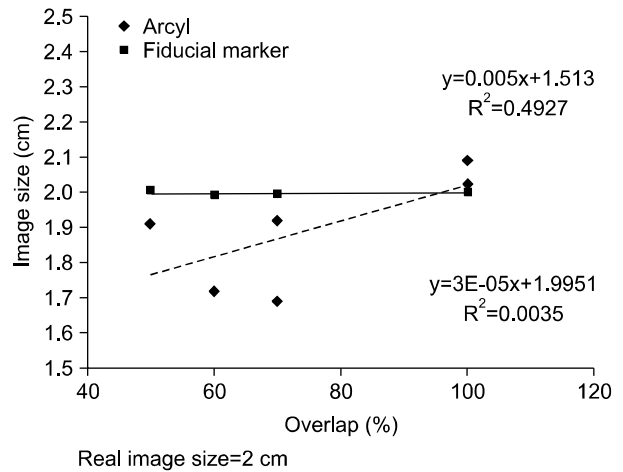


Fig. 9. The effect of cone-beam CT image according to overlap percentage.

Fiducial marker의 경우 최소 18% 최대 66%의 변화를 보였다. 이런 영상의 차이는 보다 정확한 방사선 치료를 위한 영상유도에 큰 불확실성 요인이므로 Cone-Beam CT 획득 전에 환자가 충분히 안정을 취할 수 있는 시간을 주어 환자의 호흡이 안정화 될 수 있도록 해야 한다. 또한 Cone-Beam CT 획득 중에도 지속적인 환자의 호흡 관찰을 하여 환자의 큰 호흡변화를 관찰하였다면 영상유도 후에 반드시 투시를 이용하여 치료부위를 확인할 필요가 있으며, 재 Cone-Beam CT 획득을 통하여 보다 정확한 영상유도를 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

Fiducial marker의 경우 metal artifact로 인하여 Overlap percentage에 따른 Cone-Beam CT 영향 분석에 알 수 있듯이 Cone-Beam CT 획득 시 모든 움직임이 거의 반영됨을 확인할 수 있었다. 이에 Fiducial marker를 이용한 영상유도에 metal artifact를 고려해야 한다고 사료된다.

참고문헌

1. Kim J, Meyer JL, Dawson LA: Image guidance and the new practice of radiotherapy: what to know and use from a decade of investigation. *Front Radiat Ther Oncol* 2011;43:196-216
2. Cazoulat G, de Crevoisier R, Simon A, et al.: Quantification of the volumetric benefit of image-guided radiotherapy (IGRT) in prostate cancer: margins and presence probability map. *Cancer Radiother* 2009;13:365-374
3. Crevoisier R, Louvel G, Cazoulat G, et al.: Image-guided radiotherapy: rational, modalities and results. *Bull Cancer* 2009; 96:123-132
4. Alves M Jr, Baratieri C, Nojima LI: Assessment of mini-implant displacement using cone beam computed tomography.

- Clin Oral Implants Res 2011;22:1151-1156
5. Song JY, Nam TK, Ahn SJ, et al.: Respiratory motional effect on cone-beam CT in lung radiation surgery. Med Dosim 2009;34:117-125
 6. Lewis JH, Li R, Jia X, et al.: Mitigation of motion artifacts in CBCT of lung tumors based on tracked tumor motion during CBCT acquisition. Phys Med Biol 2011;56:5485-5502
 7. Bak J, Jeong K, Keum KC, et al.: On-line image guided radiation therapy using Cone-Beam CT (CBCT). J Korean Soc Ther Radiol Oncol 2006;24:294-299

Abstract

Consideration of the Effect according to Variation of Material and Respiration in Cone-Beam CT

Jun Young Na, Jung Mi Kim, Dae Sup Kim, Tae Young Kang, Geum Mun Baek, Gyeong Tae Kwon

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

Purpose: Image Guided Radiation Therapy (IGRT) has been carried out using On-Board Imager system (OBI) in Asan Medical Center. For this reason, This study was to analyze and evaluate the impact on Cone-Beam CT according to variation of material and respiration.

Materials and Methods: This study was to acquire and analyze Cone-Beam CT three times for two material: Cylinder acryl (lung equivalent material, diameter 3 cm), Fiducial Marker (using clinic) under Motion Phantom able to adjust respiration pattern randomly was varying period, amplitude and baseline vis-à-vis reference respiration pattern.

Results: First, According to a kind of material, when being showed 100% in the acryl and 120% in the Fiducial Marker under the condition of same movement of the motion phantom. Second, According to the respiratory alteration, when being showed 1.13 in the baseline shift 1.8 mm and 1.27 in the baseline shift 3.3 mm for acryl. when being showed 1.01 in 1 sec of period and 1.045 in 2.5 sec of period for acryl. When being showed 0.86 in 0.7 times the standard of amplitude and 1.43 in 1.7 times the standard of amplitude for acryl. when being showed 1.18 in the baseline shift 1.8 mm and 1.34 in the baseline shift 3.3 mm for Fiducial Marker. when being showed 1.0 in 1 sec of period and 1.0 in 2.5 sec of period for Fiducial Marker. When being showed 0.99 in 0.7 times the standard of amplitude and 1.66 in 1.7 times the standard of amplitude for Fiducial Marker.

Conclusion: The effect of image size of CBCT was 20% in the case of Fiducial marker. The impact of changes in breathing pattern was minimum 13% - maximum 43% for Acryl, min. 18% - max. 66% for Fiducial marker. This difference makes serious uncertainty. So, Must be stabilized breathing of patient before acquiring CBCT. also must be monitored breathing of patient in the middle of acquire. If you observe considerable change of breathing when acquiring CBCT. After Image Guided, must be need to check treatment site using fluoroscopy. If a change is too big, re-acquiring CBCT.

Key words: cone-beam CT (CBCT), IGRT, baseline, period, amplitude