

CT 영상을 이용한 불균질 조직의 선량보정 평가

건양대학교병원 방사선종양학과

김 가 중

목적: 방사선치료에 있어 종양조직이나 정상조직의 정확한 선량계산은 치료의 성패를 좌우하는 가장 큰 요인이다. 이로 인해 방사선치료계획은 컴퓨터 단층 영상의 재구성을 통한 불균질 조직에 선흡수계수를 밀도로 변환하여 CT 번호에 의한 선량 보정이 유효하게 이루어지고 있다.

대상 및 방법: 이에 본 연구는 불균질 조직등가 팬텀을 제작하여 현재 사용 중인 방사선 치료 계획시스템을 이용한 CT 번호의 측정과 질량밀도를 계산하여 물을 기준으로 상대값을 구하였다. 또한 실제 방사선 조사 시 측정된 선량(nC)과 CT 영상을 이용한 치료계획 시 선량(PDD)을 상대적으로 비교함으로써 실제 CT 번호를 이용한 불균질 조직의 보정에 대한 유용성과 정확성을 평가하고자 한다.

결과: 측정결과 CT 번호를 이용하여 계산된 조직등가물질의 질량밀도와 실제 질량밀도는 0.005~0.069 g/cm³의 차이를 보였으며, 방사선 치료계획 시 심부선량(PDD)과 방사선 치료 장치로 조사하여 측정된 선량의 상대오차는 -2.8~+1.06%로 3% 이내의 유효범위이내의 결과를 얻었다.

결론: 본 실험은 CT 영상을 이용한 불균질 조직의 보정에 대한 유용성을 확인할 수 있었고, 방사선 치료 계획 장치의 정도 관리(Quality Assurance; QA)의 기본 틀을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심어: 불균질 조직의 보정, 방사선치료계획 장치, CT 번호

서 론

방사선 치료의 목적은 정상조직의 장해를 최소화함과 동시에 종양에 최적의 방사선을 조사하여 암의 완치율을 높이는데 있다. 방사선 치료계획 또한 기존의 X선 투시과정을 통한 2차원적인 치료에서 점차 3차원적 방사선 치료계획 시스템(3-D Radiation Treatment Planning System; RTPS)으로 바뀌고 있는 상태이다.^{1,2)} 이러한 3차원 방사선 치료계획은 CT 영상의 재구성을 통하여 종양이나 주요장기의 위치나 크기를 정확히 파악할 수 있고 CT 횡단면상에 직접 선량 분포도를 작성하여 만족할 만한 공간적 선량분포를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 체표면의 곡면이나 요철, 밀도가 다른 인체의 불균질 조직의 선량보정을 CT 번호(Hounsfield Unit)를 이용하여 교정함으로써 보다 정확한 치료를 시행할 수 있게 되었다.³⁾

방사선 치료에 있어서 종양조직의 정확한 선량계산은 치료의 성패를 좌우하는 가장 큰 인자로서 기존의 치료선량계획에서는 실효원자번호와 밀도가 인체와 유사한 단일 물질인

물 팬텀(phantom)을 이용하여 표준 심부선량분포를 작성하고 이를 바탕으로 방사선량을 계산하고 있다. 그러나 실제 인체는 지방, 뼈, 근육, 폐, 공기 등 불균질한 조직으로 구성되어 있어 방사선 빔의 통과 시 1차선의 흡수와 산란의 형태가 다르고 2차 전자 플루언스(Fluence)가 다르기 때문에 선량분포의 보정이 반드시 필요하다.⁴⁾ 이러한 불균질 조직의 보정을 위해 Tissue-air ratio (TAR), Batho power law, Effective path length, Equivalent TAR, Isodose shift method 등 많은 방법이 발표되어 이용되고 있으며, 최근에는 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 광자선 빔의 일차선속과 산란선속에 의한 선량변화를 결정하는 방법 등이 소개되어 그 정확도가 점차 높아지고 있다.^{5,6)} 현재 방사선치료계획에서 컴퓨터 단층영상을 이용한 선량 계산은 선흡수 계수를 바탕으로 한 CT 번호를 이용하여 이루어지고 있다.⁷⁾ (식-1)

$$HU=K \frac{(\mu_{med} - \mu_w)}{\mu_w} \dots \dots \dots (식-1)$$

HU; Hounsfield Unit

K; 확대 상수 1000

μ_{med} ; 조직의 선흡수계수

μ_w ; 물의 선흡수계수

이 논문은 2006년 3월 10일 접수하여 2006년 8월 1일 채택되었음.
책임저자 : 김가중, 건양대학교병원 방사선종양학과
Tel: 042)600-6727, Fax: 042)600-9094
E-mail: gjms1225@daum.net

그러나 CT번호는 진단용 방사선 에너지 영역에서 발생하는 광전효과(Photoelectric effect)에 의한 흡수계수를 주로 하여 얻어지므로 방사선치료 에너지 영역에서 주로 발생하는 콤프톤 효과(Compton effect)에 대한 흡수계수를 예측하여 사용하기에는 문제점을 안고 있다.⁸⁾ (식-2, 3)

$$\text{Photoelectric effect: } \frac{\tau}{p} \propto Z^3 \text{ -----(식-2)}$$

$$\text{Compton effect: } \frac{\sigma}{p} \propto \text{Number of electrons per gram} \text{ -----(식-3)}$$

이에 본 연구는 불균질 조직 등가물질 팬텀(phantom)을 제작하여 현재 사용 중인 방사선 치료계획 시스템에서 CT 번호의 측정과 질량밀도를 계산하여 물을 기준으로 상대값을 구하고, 실제 방사선 조사 시 이온 전리함(Ionization chamber)에 의해 측정된 조직등가 팬텀의 선량을 상대적으로 비교함으로써 실제 CT 번호를 이용한 불균질 조직의 보정에 대한 유용성 및 정확성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

불균질 조직의 선량보정계수를 측정하기 위해 11.5×11.5×6 cm³의 팬텀을 제작하였다. 이 팬텀을 다시 4등분하여 질량 밀도가 1.0 g/cm³인 증류수(기준등가물질)와 0.25 g/cm³인 코르크(Lung equivalent material), 1.18 g/cm³인 Poly-Methyl methacrylate (PMMA; Muscle equivalent material), 1.42 g/cm³인 Polyacetal (POM; Bone equivalent material)을 각각 5×5×5 cm³로 제작하여 팬텀(phantom)에 삽입하여 CT 스캔 하였다. 이 후 얻어진 CT 영상의 감약계수를 이용하여 조직등가물질의 질량밀도와 CT 번호(Hounsfield Unit)를 측정 하였다(Fig. 1). CT 스캔은 본원 SOMATOM PLUS4 (SIEMENS, USA)를 이용하여 2 mm 절편두께(slice thickness), 120 kVp, 200 mAs 조건하에 실시하였으며 CT 영상을 Dicom System (MAROTECH, Korea)을 통하여 이미지 손실을 최소화하여 치료계획장치(Prowess, Prowess, USA)로 전달하여 평가를 하였다(Fig. 2). 치료 계획장치를 이용하여 각 조직등가물질의 질량 밀도(Mass density)와 CT 번호를 측정

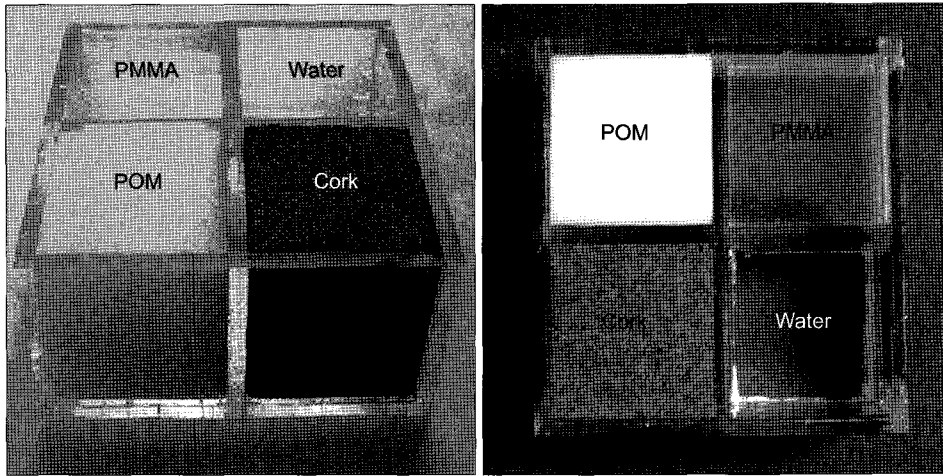


Fig. 1. Photograph of self-made CT density QA phantom, the phantom consists of water (distilled water, reference equivalent material), cork (Cork, lung equivalent material), PMMA (Poly-Methyl methacrylate, Muscle equivalent material), and POM (Polyacetal, Bone equivalent material).

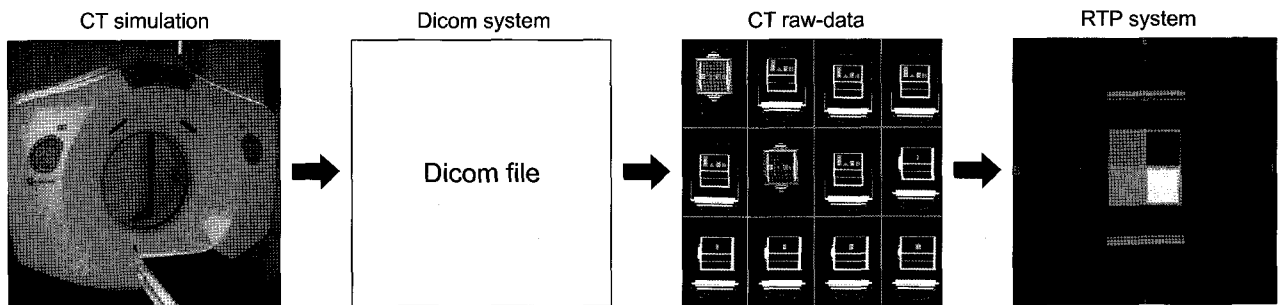


Fig. 2. Process of transmission from CT scan to RTP system.

하여 식에 의해 구해진 질량밀도와 값을 서로 비교 평가하였다(식-4).

$$HU=1,000 \times (\rho - 1) \text{-----}(식-4)$$

HU; Hounsfield Unit

ρ ; 조직의 질량 밀도

또한 치료계획을 통해 선원-표면간 거리를 100 cm, 조사야 10×10 cm²의 조건으로 방사선 빔(6 MV, 10 MV Photon)을 각 조직등가 물질의 중심에 조사하였을 때 심부선량 백분율과 실제 방사선 치료장치(PRIMUS, SIEMENS, USA)로 동일 조건하에서 이온 전리함(PTW, 0.6 cc Farmer type, USA)에 의해 측정된 흡수선량 값과 비교 평가하였다(Fig. 3, 4).

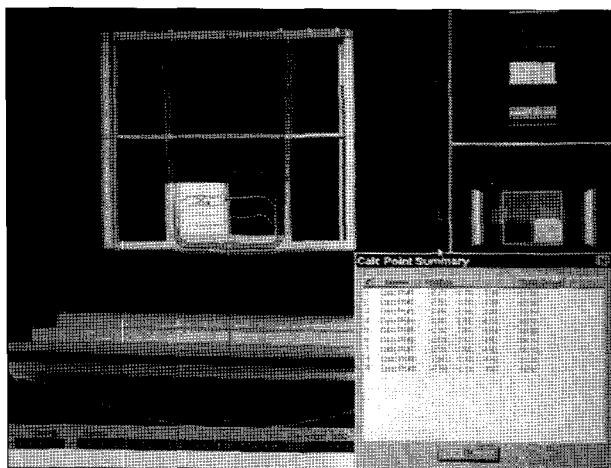


Fig. 3. Comparison of measurement dose and isodose distribution of CT density QA phantom by using RTP system.

결 과

각 조직등가물질의 CT 스캔을 통해 얻어진 횡단면상을 치료계획 장치로 CT번호를 측정할 평균값은 증류수 +5, Cork -771, PMMA +125, POM +351이었다. 측정된 CT 번호를 식4를 이용하여 질량 밀도로 환산한 결과, 증류수 1.005 g/cm³, Cork 0.229 g/cm³, PMMA 1.128 g/cm³, POM은 1.351 g/cm³로 실제 질량밀도에 비해 최소 0.005 g/cm³ (증류수)에서 최대 0.069 g/cm³ (POM)의 차이를 보였다(Table 1).

CT 영상을 이용한 치료계획 시 조직등가물질의 선량보정 평가를 위해 방사선 치료계획 장치로 표준 측정조건하(SSD: 100 cm, 조사야 10×10 cm²)에서 6 MV, 10 MV 광자선(Photon) 빔을 가상으로 조사하여 심부선량 백분율을 구하였고 실제 본원 선형가속장치를 동일 측정 조건으로 이온 전리함에 의해 심부선량을 측정하였다. 측정된 선량 값은 증류수를 기준으로 방사선 치료계획 시 보정된 상대값과 실제 치료 장치로 구한 상대 값을 계산하였으며, 계산된 결과는 6 MV

Table 1. Comparison between real mass density and calculated mass density of tissue equivalent material using the CT number

	Mass density (g/cm ³)	Calculated mass density from CT-number (CT-number)	Mass density difference
Distilled water	1.0	1.005 (5)	0.005
Cork	0.25	0.229 (-771)	0.021
PMMA	1.18	1.128 (128)	0.052
POM	1.42	1.351 (351)	0.069

Distilled water: reference equivalent material

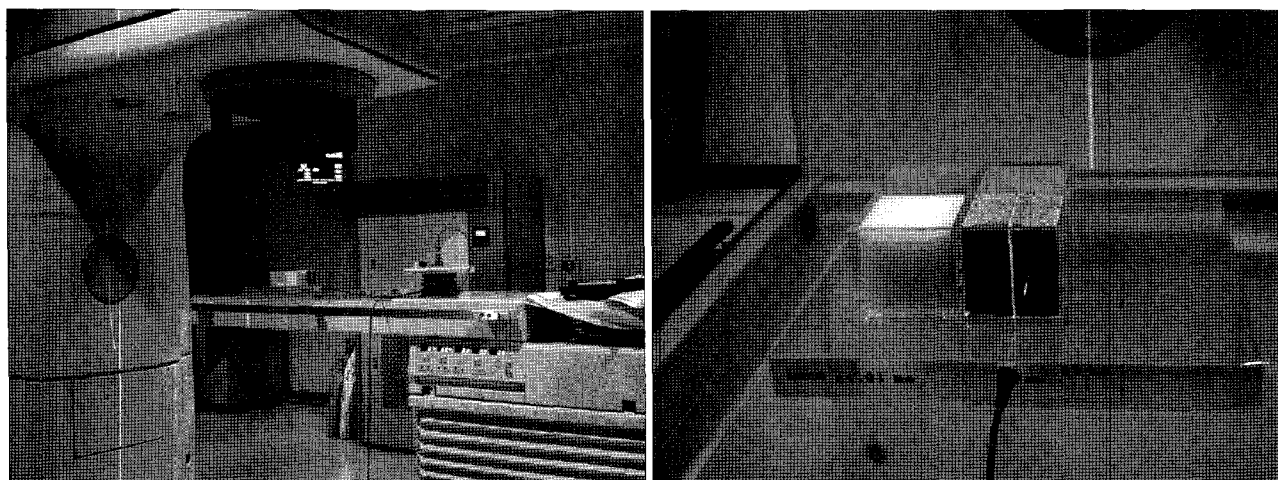


Fig. 4. Dosimetry of tissue equivalent phantom by using radiation therapy unit.

Table 2. Comparison between the treatment planning dose (PDD) and irradiation dose (nC)

		Radiation therapy planning dose		Real radiation measurement		Relative error
		Percentage depth dose	Relative value	Depth dose (nC)	Relative value	
Distilled water	6 MV	85.10	1 (reference)	14.69	1 (reference)	1 (reference)
	10 MV	89.75	1 (reference)	16.02	1 (reference)	
Cork	6 MV	93.73	1.10	16.46	1.12	-1.8%
	10 MV	95.85	1.07	17.57	1.10	-2.8%
PMMA	6 MV	84.14	0.99	14.41	0.98	+1.02%
	10 MV	89.12	0.99	15.79	0.99	0%
POM	6 MV	82.61	0.97	13.87	0.94	+1.06%
	10 MV	87.56	0.98	15.34	0.96	+1.04%

광자선(Photon)에서 Cork -1.8%, PMMA +1.02%, POM은 +1.06%의 오차를 보였으며 10 MV 광자선(Photon)에서는 Cork -2.8%, POM은 -1.04 %의 오차를 보였고 PMMA는 상대오차가 일치하였다(Table 2).

고찰 및 결론

현재 대부분의 방사선 치료계획은 CT 영상을 재구성하여 환자의 정보나 임상조건, 체표윤곽도(Body Contour), 종양을 포함한 인접 주요장기의 위치 및 크기를 정확하게 표현하고 조직의 전자밀도(Electron density)에 따른 불균질 보정을 통해 공간적(물리적), 시간적(생물학적)으로 최적의 선량분포를 얻어 정확한 치료를 수행하게 된다. 이러한 방사선 치료 계획장치는 정밀도가 높은 만큼 복잡하고 다양한 함수들을 이용하기 때문에 치료의 정확성을 판단하기 위한 정도관리(Quality Assurance; QA)의 필요성은 더욱 증대되고 있다⁹⁾.

본 실험에서는 CT 영상을 이용한 불균질 조직의 보정값에 대한 정확성을 평가하는데 중점을 두었다. 방사선 치료에 사용되는 광자선의 에너지는 수 MeV에 이르므로 조직에 흡수되는 선량은 조직의 전자밀도에 비례하게 되지만 CT 스캔의 광자선 에너지는 80~140 kVp 사이로 광전효과영역에 있으므로 조직 유효원자번호의 적은 변화에도 흡수차가 크게 변하게 되며 CT 번호는 에너지 스펙트럼에 따라서 영향을 받게 된다. 이에 본 연구에서는 자체 제작한 불균질 보정 정확도 QA 팬텀을 이용하여 본원의 치료계획장치의 불균질 보정 정확도를 평가하였다.

CT 번호를 통해 계산된 조직등가물질의 질량밀도와 실제 질량밀도의 차는 0.005~0.069 g/cm³로 비교적 차이가 없는

것으로 나타났다. 그러나 원자번호가 높은 조직등가물질에서 약간의 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 그리고 방사선 치료계획 시 심부선량과 실제 방사선 치료장치로 조사하여 측정된 선량(nC)의 상대값은 -2.8~+1.06% 오차로 Kappas와 Rosenwald¹⁰⁾, Van Dyk 등¹¹⁾의 연구논문과 비교하여 허용 오차범위 3% 이내에 포함되어있는 것을 알 수 있었다.

본 실험을 통해 CT 영상을 이용한 불균질 조직의 적절성 평가는 비교적 유효범위 이내의 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 폐 등가물질인 코르크(Cork)는 비교적 큰 오차(-2.8%)를 보여 방사선 치료계획 시 폐나 공동(cavity)의 보정을 통한 선량계산 시 주의가 필요할 것으로 사료된다.

현재 방사선 종양학과에서는 CT 영상의 재구성을 통하여 얻어진 특수한 영상기법들을 활용하여 보다 정량적 치료계획을 실시하고 있다. 본 실험을 통해 CT 영상을 통한 조직의 보정은 비교적 허용범위 안에 포함되어 있어 방사선 치료계획의 적정성을 평가할 수 있었으며 측정치의 객관적 신뢰성을 바탕으로 양질의 방사선 치료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Khan FM. Treatment planning in radiation oncology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1993;11-31
2. Jani SK. CT simulation for radiotherapy. 1st ed. medical physics publishing Corporation, Singapore, 1993;17-23
3. Washington CM, Leaver DT. Physics, simulation and treatment planning. 1st ed. Texas: CV Mosby, 2004;100-103
4. 최태진: 컴퓨터영상의 전자밀도 보정에 근거한 치료선량 확인, XIO실험. 의학물리 2006;17:105-112
5. Sharpe MB, Battista JJ: Dose calculations using convolution

- and superposition principles, The orientation of dose spread kernels in divergent x-ray beam. *Med Phys* 1993;20:1685-1694
6. Boyer AI, Zhu Y, Wand L: Fast fourier transform convolution calculations of x-ray dose distributions inhomogeneous media. *Med Phys* 1989;16:248-253
 7. Constantinos C, Dewerd LA: An electron density calibration phantom for CT-based treatment planning computers. *Med Phys* 1992;19:325-327
 8. Khan FM: *The physics of radiation therapy*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1994;76-90
 9. American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee task Group 66; Quality assurance for computed-tomography simulation and the computed tomography-simulation process. 1998
 10. Kappas C, Rosenwald JC: Quality control of inhomogeneity correction algorithm used in treatment planning system. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1944;32:847-858
 11. Van Dyk, Barnett RB, Cygler JE, Shragge PC. Commissioning and quality assurance of treatment planning computers. *Medical Dosimetry* 1993;26:261-273

Abstract

Evaluation of Corrected Dose with Inhomogeneous Tissue by using CT Image

Gha Jung Kim

Department of Radiation Oncology, Konyang University Hospital, Daejeon, Korea

Purpose: In radiation therapy, precise calculation of dose toward malignant tumors or normal tissue would be a critical factor in determining whether the treatment would be successful. The Radiation Treatment Planning (RTP) system is one of most effective methods to make it effective to the correction of dose due to CT number through converting linear attenuation coefficient to density of the inhomogeneous tissue by means of CT based reconstruction.

Materials and Methods: In this study, we carried out the measurement of CT number and calculation of mass density by using RTP system and the homemade inhomogeneous tissue Phantom and the values were obtained with reference to water. Moreover, we intended to investigate the effectiveness and accuracy for the correction of inhomogeneous tissue by the CT number through comparing the measured dose (nC) and calculated dose (Percentage Depth Dose, PDD) used CT image during radiation exposure with RTP.

Results: The difference in mass density between the calculated tissue equivalent material and the true value was ranged from 0.005 g/cm³ to 0.069 g/cm³. A relative error between PDD of RTP and calculated dose obtained by radiation therapy of machine ranged from -2.8 to +1.06% (effective range within 3%).

Conclusion: In conclusion, we confirmed the effectiveness of correction for the inhomogeneous tissues through CT images. These results would be one of good information on the basic outline of Quality Assurance (QA) in RTP system.

Key words: inhomogeneity correction, radiation treatment Planning system (RTPS), hounsfield unit (HU, CT number)