

두경부암 환자의 MVCT를 이용한 치아 인공물 보정에 따른 선량평가

서울아산병원 방사선종양학과

신충훈·윤인하·전수동·김정미·김호진·백금문

목 적: 본 연구는 두경부암 환자의 kVCT와 MVCT영상에서 치아 인공물의 체적을 비교하고, MVCT영상에서 치아체적을 얻은 후 kVCT영상에 배정하여 치아체적 및 주변 정상조직의 전자밀도 교정 후 치료계획체적(PTV) 선량변화를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 본원의 Radixact® X9에서 세기조절방사선치료를 받은 5명의 두경부암 환자를 대상으로 하였다. 환자의 MVCT영상에서 치아 및 주변 정상조직의 체적을 그린 후 kVCT영상에 영상정합 후 역방향 전산화치료계획을 실시하였다. 처방선량지수와 선량균질지수를 이용하여 PTV 선량을 평가하였다.

결 과: kVCT영상과 MVCT영상에서 얻은 금속 인공물의 체적을 비교한 결과 평균 3.49±2.61 cc, 최대 7.43 cc의 차이를 보였다. PTV는 내부 치아가 충분히 포함된 곳으로 제한하였으며, PTV 선량평가 결과 인공물을 보정하지 않은 kVCT의 전산화치료계획의 CI값의 평균은 0.86, MVCT영상을 통해 인공물을 보정 한 kVCT의 CI값은 평균 0.9로 평가되었다.

결 론: 금속 인공물의 보정 없이 전산화치료계획이 이루어졌을 때 PTV의 선량이 저평가 되어 선량 불확실성이 발생됨을 알 수 있었다.

▶ **핵심용어** : 두경부암, kVCT, MVCT, 금속 인공물, 전산화치료계획

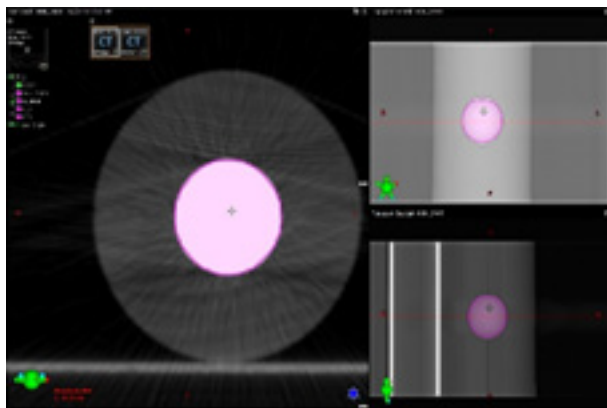
서 론

방사선치료계획 수립을 위해 킬로볼트 전산화단층촬영(kilovoltage Computed Tomography, kVCT) 영상의 도입과 함께 3차원 입체조형방사선치료(3Dimension Conformal Radiation Therapy, 3D-CRT), 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 용적변조회전방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 등의 정교한 전산화치료계획과 비동일 평면상에서의 치료계획 수립이 가능해졌다. 하지만 치료계획 수립을 위한 전산화단층촬영 영상에서 외과적 클립,

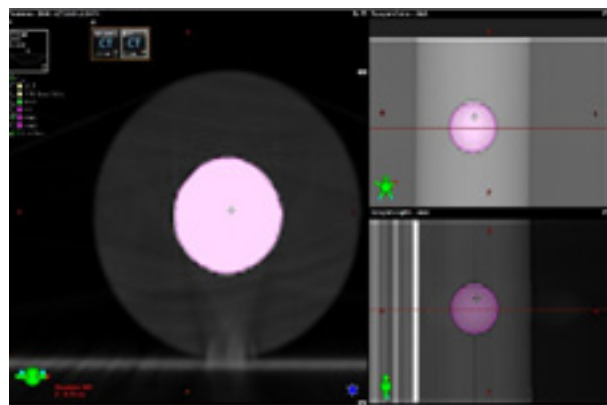
임플란트, 인공관절 등의 금속물질은 금속 인공물(Metal Artifact)을 만들어 영상을 왜곡시키고 체적의 측정과 진단에 영향을 미치게 된다.^(1,2) 특히, 선량 계산과 최적화 과정에서 금속 물질의 영향은 더욱 크게 작용하기 때문에 금속 인공물의 시각적 감소와 CT number의 정확성은 중요한 요인으로 작용한다.^(3,4) 따라서 이러한 금속 인공물의 영향과 보정 등의 많은 연구가 진행되고 있다.⁽⁵⁾

입체모의치료(CT simulation) 시 Metal Artifact Reduction(MAR) 재구성 알고리즘을 사용하여 금속 인공물의 영향을 최소화하지만, MAR 기능을 사용한 영상과 사용하지 않은 kVCT영상을 비교하였을 때 용적의 차이가 많지 않다는 연구결과가 보고되었다.⁽⁶⁻⁷⁾ 하지만, 메가볼트 전산화단층촬영(Megavoltage Computed Tomography, MVCT) 영상의 경우 금속 인공물의 영향이 적어 실제 금속의 용적과 유사하게 되며 금속의 영향을 최소화 할 수

책임저자: 신충훈, 서울아산병원 방사선종양학과
서울특별시 송파구 올림픽로 43길 88
Tel: 02)3010-2782
E-mail: sch891013@naver.com



(a) Iron Beads kVCT image



(b) Iron Beads MVCT Image

Fig. 1. (a) Iron Beads kVCT image, (b) Iron Beads MVCT Image

있는 장점이 있다.⁽⁶⁾ 본 연구를 위하여 사전에 지름이 3cm, 체적 14.13cc인 쇠구슬을 Quasar 팬텀 내부에 고정시킨 후 kVCT와 MVCT영상을 획득하였다. kVCT와 MVCT영상에서 체적을 측정한 결과 각각 16.70cc, 14.44cc의 값을 나타내어 MVCT에서의 금속 체적 유사성을 재검증하였다 (Fig. 1).

이러한 결과를 바탕으로 MVCT영상에 치료계획이 수립된다면 앞에서 제기된 금속 물질의 영향에 의한 선량계산과 최적화 과정의 부정확성 등의 문제들이 해결되지만, 영상의 질 저하와 전자밀도가 다르다는 이유 등으로 전산화치료계획 적용에는 어려움이 있다.

이에 본 연구에서 두경부암 환자의 MVCT영상에서 차이의 체적을 kVCT영상에 배정(Assignment)하여 선량계산을 하였을 때의 정확성을 평가하고 전산화치료계획에서 계산된 선량을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 실험 재료

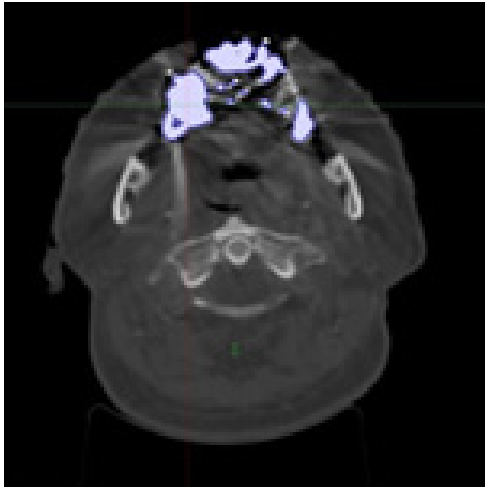
- CT Simulator(Discovery CT 590 RT, GE, Waukesha, USA)
- RADIXACT[®] X9(Accuray, Madison, Wisconsin, USA, version 1.1.0.1)
- CIRS Phantom(Computerized Imaging Reference System Inc, Virginia, USA)
- MATLAB[®](Mathworks, Massachusetts, USA)
- Eclipse[™](Treatment Planning System, Varian, Palo Alto, USA, version 13.6)

2. 전산화치료계획용 영상 획득

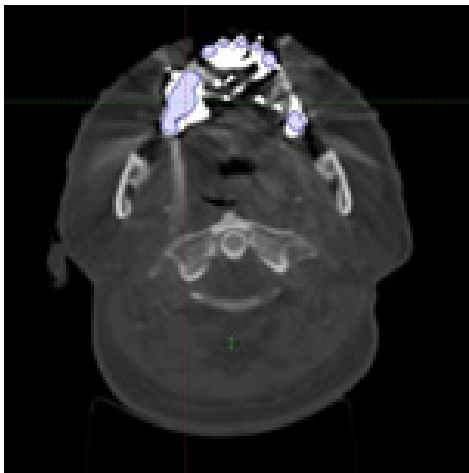
본원 RADIXACT[®] X9에서 세기조절방사선치료를 받은 5명의 두경부암 환자를 대상으로 하였으며, 모든 환자는 CT Simulator를 이용하여 획득한 CT영상에 전산화치료계획을 수립하였으며, 모든 CT영상은 SMART MAR 재구성 알고리즘(SMART-MAR[®] Software, GE Healthcare)을 사용하여 반복 재구성(Iteration Reconstruction, 이하 IR)되었다.

IR 영상에 금속물을 그대로 Assign한 영상(Assign CT image, 이하 A-CT)과 MVCT를 이용하여 금속물을 보정한 영상(Correction CT image, 이하 C-CT)에서 선량 계산 후 차이를 평가하고자 하였다.

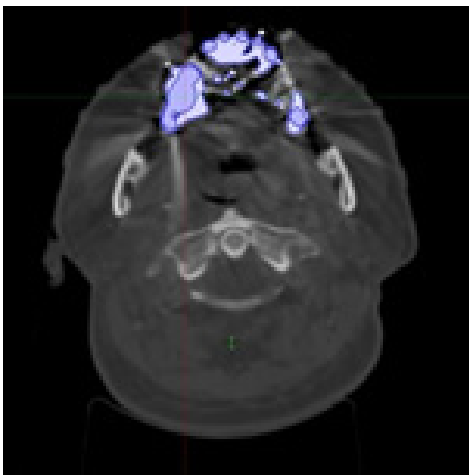
차이를 평가하기 위해 MVCT영상을 획득하여 금속성 인공물을 유발하는 차이를 윤곽형성(Contouring)하였고, 두 영상의 영상 등록(Image Registration)과정을 통해 MAR 영상에 배정하였다. 치료과정 중 Pitch는 Fine, 간격(interval)은 2mm 재구성 조건으로 표적과 치아가 모두 포함되도록 MVCT영상을 획득하였다. MVCT 상의 전자밀도를 Eclipse Treatment Planning System에 입력하기 위해 CIRS Phantom을 조사한 후 MATLAB[®] 프로그램을 이용하여 특정 조직에 해당하는 전자밀도(Lung - ρ : 0.50g/cc, Bone - ρ : 1.53g/cc, Muscle - ρ : 1.06g/cc, Breast - ρ : 0.99g/cc, Liver - ρ : 1.07g/cc, Adipose - ρ : 0.96g/cc, Titanium Core - ρ : 4.51g/cc)를 획득하고 빔 데이터 구성(Beam data Configuration) 및 곡



(a) kVCT assigned Metal material



(b) MVCT corrected Metal material



(c) Comparison of kVCT and MVCT Image Structure

Fig. 2. (a) kVCT assigned Metal material, (b) MVCT corrected Metal material, (c) Comparison of kVCT and MVCT Image Structure

Table 1. Criteria of Segmentation

Structure Name	Criterion of Segmentation
Air all	-1000~-200HU
Tissue all	-200~Maximum HU
Dental all	300~Maximum HU
Metal	1300~Maximum HU
Dental	Dental all - Metal Structure
Tissue	Tissue all - (Dental all + Air all) Structure

Table 2. Differences in the volume of Dental Metal Artifacts Measured on kVCT and MVCT images

(Unit in ratio : cc)

	Volume Measure
Case 1	1.99
Case 2	1.06
Case 3	4.81
Case 4	7.43
Case 5	2.17
Average	3.49±2.61

선 편집(Edited Curve)을 하였다.

그리고 kVCT와 MVCT 영상에 치아 및 금속 인공물의 구조(Structure)를 분할(Segmentation)하는 기준은 CT number의 Hounsfield Unit(HU)값의 Threshold를 두고 구분하였다(Fig. 2).

전산화치료계획은 Eclipse™(Varian, Palo Alto, USA, Version 13.6)를 이용하여 치료계획을 수립하였다.

1) 전산화치료계획수립

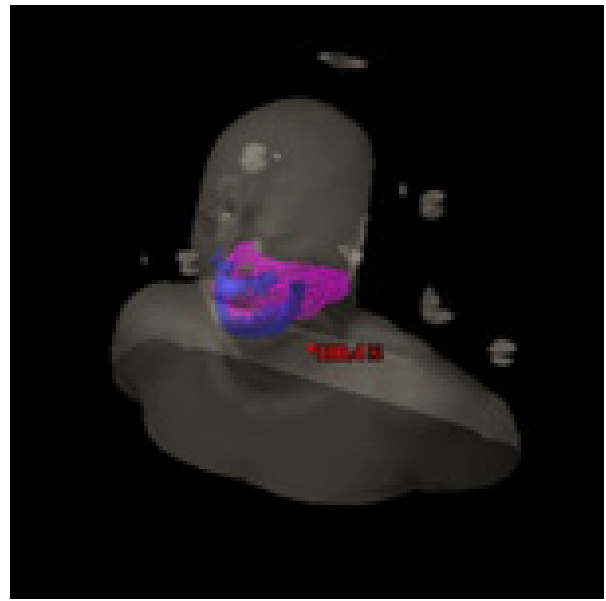
연구 대상 환자의 입체 모의치료 영상에 1회 200cGy의 선량을 전달하고자 하는 정적 세기조절 방사선치료 계획(Static IMRT Plan)을 수립하였다. 조사 방향은 7~9개로 제한하고 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 방식으로 동일한 제한(Constrain)을 두고 선량 최적화(Dose optimization)과정을 통해 전산화치료계획을 수립하였다.

2) 선량평가

A-CT와 C-CT의 금속 체적은 Eclipse™로 용적을 측정하여 평가하였으며, 전산화치료계획의 표적체적 적용



(a) Image of evaluated PTV area



(b) Limited PTV with internal tooth area

Fig. 3. (a) Image of evaluated PTV area, (b) Limited PTV with internal tooth area

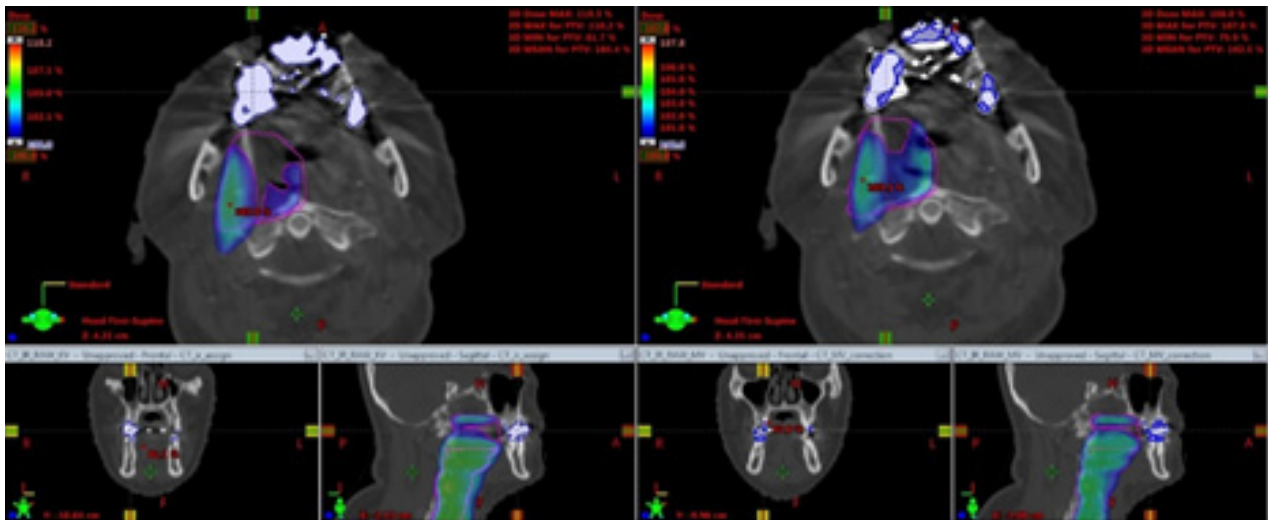


Fig. 4. Image showing Target Coverage differences between A-CT and C-CT imaging

Table 3. Comparison of Conformity Index of PTV Limited to Oral Cavity side of A-CT and C-CT images

CI	A-CT	C-CT
Case 1	0,79	0,87
Case 2	0,94	0,95
Case 3	0,81	0,86
Case 4	0,9	0,97
Case 5	0,86	0,87
Average	0,86	0,9

Table 4. Comparison of Homogeneity Index of PTV Limited to Oral Cavity side of A-CT and C-CT images

HI	A-CT	C-CT
Case 1	1,09	1,05
Case 2	1,04	1,04
Case 3	1,04	1,05
Case 4	1,21	1,03
Case 5	1,05	1,04
Average	1,09	1,04

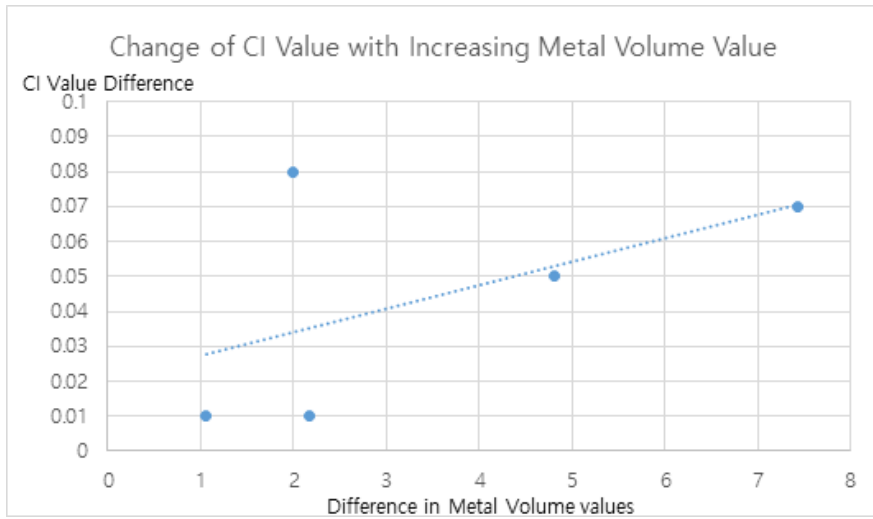


Fig. 5. Change of CI Value with Increasing Metal Volume Value

범위(Target Coverage)를 평가하기 위해 국제방사선단위 측정위원회(International Commission on Radiation Units & Measurements, ICRU) 보고서 62에 의거하여 처방선량지수(Conformity Index, CI)[식 1]와 선량균질지수(Homogeneity Index, HI)[식 2]를 구해 비교하고자 하였다. 평가되는 치료계획표적용적(Planning Target Volume, PTV)은 내부 치아가 충분히 포함되는 곳으로 제한하였으며, 비교대상은 A-CT영상의 치료계획과 C-CT영상의 치료계획으로 각각의 처방선량지수와 선량균질지수를 산출하여 비교, 평가하였다(Fig. 3).

$$CI = \frac{V_{PD}}{V_{PTV}} \quad \text{[식 1]}$$

V_{PD} : 처방선량(Prescribed Dose, PD)이 포함되는 용적(cm^3)

V_{PTV} : PTV의 용적(cm^3)

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \quad \text{[식 2]}$$

$D_{5\%}$: PTV의 5% 용적선량(cGy)

$D_{95\%}$: PTV의 95% 용적선량(cGy)

결 과

전체 대상 5명의 kVCT와 MVCT에서의 치아 금속 체적은 평균 $3.49 \pm 2.61 \text{ cc}$ 의 차이가 있었다.

처방선량지수는 A-CT에서 평균 0.86, C-CT에서 평균 0.9였으며, 모든 환자에서 C-CT영상의 값이 전부 1.0에 가까운 것을 확인하였다(Fig. 4,5).

선량균질지수는 A-CT에서 평균 1.09, C-CT에서 평균 1.04로 MVCT를 이용하여 보정된 영상인 C-CT영상의 값이 평균적으로 1.0에 가까웠지만, 모든 Case에서 동일한 양상이 아님을 확인하였다.

결 론

두경부 환자의 경우 삽입된 임플란트나 레진이 포함된 부위의 경우 금속 물질에 의한 금속성 인공물로 인해 해부학적 구조를 정확하게 확인할 수 없어 전산화치료계획 시 영향을 미치는 경우가 많다.

이러한 문제를 해소하기 위해 CT simulation 시 장비사에서 제공하는 IR기법들에 의해 많은 Artifact 감소를 통해 좋은 영상의 질을 만들어 왔지만, 실제로 금속 체적의 정확한 표현을 위해서는 MVCT영상 특이 있어야 한다는 것 또한 많은 연구를 통해 증명되었다. 또한 금속 인공물이 PTV 내에 포함되어 있거나 가까운 경우 치료용적 설정에 오류를 일으킬 수 있어 전산화치료계획 영상에서 금속 인공물의 제거는 매우 중요한 요인이라 할 수 있다.

본 연구에서 MVCT영상을 통해 얻은 금속 물질의 영상

은 IR CT영상보다 금속 인공물을 해소함으로써 정확한 치료 체적을 획득할 수 있고 종양 외 정상조직에 대한 피폭을 줄일 수 있음을 확인하였다. 대상 환자 사례에서 치료계획의 정확성을 나타내는 인자인 CI값이 MVCT에서 Correct된 CT영상에서 PTV에 들어가는 조사선량이 더욱 균질해지고 처방 선량의 용적이 PTV와 가까워짐을 확인하였다.

이와 같은 결과로 금속 인공물이 존재할 때 MVCT를 통해 금속 물질을 kVCT에 한번 더 Assignment 시키는 과정은 금속 물질의 용적에 비례하여 임상 적용에 있어 매우 유의할 것이라 사료된다.

고 찰

본 연구에서는 대상 환자를 금속 물질이 빈번히 포함되어 있는 두경부 환자만을 대상으로 진행되었다는 한계점이 있었다. 두경부 환자의 금속 물질의 부피 자체는 상·하지 혹은 고관절의 용적과 비교해 보았을 때 현저히 작은 용적이다. 하지만, 금속 물질의 부피 증가에 따라 전산화치료 계획에 미치는 영향이 커지므로 임상 적용 시 금속 부피가 클 경우 MVCT영상을 적용하여 선량계산 시 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다. 하지만, 전산화치료계획 수립 전 치료계획용 kVCT영상과 체적모사용 MVCT영상을 획득해야 하는 번거로운 점이 있기 때문에 프로토콜 적립이 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. L. BedosxL, Bedos: CT Number Accuracy Assessment of a New Metal Artifact Reduction Algorithm for CT Simulations in Radiation Therapy. International journal of radiation oncology, biology, physics, Vol90(1) 2014:S865-S866.

2. Dong Hun Kim, Jo Nam Byun, Chang Hoon Moon, et al.: Usefulness of Metal Artifact Reduction for Metal Implants in Computed Tomography Angiography. JKST, Vol20(2) 2018:115-122.
3. Hilgers G1, Nuver T, Minken A.: The CT number accuracy of a novel commercial metal artifact reduction algorithm for large orthopedic implants. Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol15(1) 2014:274-278.
4. Kai Higashigaito, MD, Florian Angst, MD, Val M, Runge, MD: Metal Artifact Reduction in Pelvic Computed Tomography With Hip Prostheses Comparison of Virtual Monoenergetic Extrapolations From Dual-Energy Computed Tomography and an Iterative Metal Artifact Reduction Algorithm in a Phantom Study. Investigative Radiology, Vol50(12) 2015:828-834.
5. Moti Raj Paudel, PhD, Marc Mackenzie, PhD, B. Gino Fallone, PhD et al.: Clinical evaluation of normalized metal artifact reduction in kVCT using MVCT prior images (NVCT-NMAR) for radiation therapy treatment planning. Int J Radiation Oncol Biol Physics, Vol 89(3) 2014:682-689.
6. Seo Sung Gook, Kwon Dong Yeol, Park Se Joon et al.: Evaluation of metal volume and proton dose distribution using MVCT for head and neck proton treatment plan. KOSRT Vol 31(1) 2019:25-32.
7. General Electric Healthcare Company: Smart Metal Artifact Reduction (MAR). 2016.
8. M.R. Paudelm, M. Mackenzie, B. G. Fallone et al.: Evaluation of metal artifacts in MVCT systems using a model based correction method. Med. Phys. Vol 39(10) 2012:6297-6308.

Dose Evaluation of Dental Artifacts Using MVCT in Head and Neck

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

Shin Chung Hun, Yun In Ha, Jeon Su Dong, Kim Jeong Mi, Kim Ho Jin, Back Geum Mun

Purpose: Metals induce metal artifact during CT-image for therapy planning, and it occurs images distortion, which affects the volumetric measurement and radiation calculation. In the case of using megavoltage computed tomography(MVCT), the volume of metals can be measured as similar to true volume due to minimal metal artifact outcome. In this study, radiation assessment was conducted by comparing teeth volume from images of kVCT and MVCT of head and neck cancer patients, then assigning to kVCT image to calculate radiation after obtaining the similar volume of true teeth volume from MVCT. Also, formal IR image was able to verify the accuracy of radiation calculation.

Material and method: 5 head and neck cancer patients who had intensity-modulated radiation therapy from Radixact® Series were of the subject in this study. Calculations of radiation when constraining true teeth volume out of kVCT image(A-CT) and when designated specific HU after teeth assigned using MVCT image were compared with formal IR image. Treatment planning was devised at the same constraints and mean dose was measured at the radiation assess points. The points were anterior of the teeth, between PTV and the teeth, the interior of PTV near the teeth, and the teeth where 5cm distance from PTV.

Result: A difference of metals volume from kVCT and MVCT image was mean 3.49 ± 2.61 cc, maximum 7.43cc. PTV was limited to where the internal teeth were fully contained. The results of PTV dose evaluation showed that the average CI value of the kVCT treatment planning without the artifact correction was 0.86, and the average CI value of the kVCT with the artifact correction using MVCT image was 0.9.

Conclusion: When the Treatment Planning was made without correction of metal artifacts, the dose of PTV was underestimated, indicating that dose uncertainty occurred. When the computerized treatment plan was made without correction of metal artifacts, the dose of PTV was underestimated, indicating that dose uncertainty occurred.

▶ **Keywords :** Head and neck cancer, kVCT, MVCT, Metal Artifact, Treatment Planning System