

# Cone beam형 전산화단층영상을 이용한 영구치 치근과 근관의 형태 평가

경희대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실 및 구강생물학연구소  
홍종현 · 김규태 · 최용석 · 황의환

## Evaluation of imaging reformation for root and pulp canal shapes of permanent teeth using a cone beam computed tomography

Jong-Hyun Hong, Gyu-Tae Kim, Yong-Suk Choi, Eui-Hwan Hwang

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry and Institute of Oral Biology, Kyung Hee University

### ABSTRACT

**Purpose** : To estimate the shape of root and pulp canal using a dental cone beam computed tomography (CBCT) and to evaluate the accuracy of imaging reformation.

**Materials and Methods** : CBCT images were obtained with incisors, premolars, and molars as the destination by using PSR 9000N™ Dental CT system (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd, Kyoto, Japan) and i-CAT (Imaging Sciences International, Inc, USA) cone beam CT unit that have different kind of detector and field of view, and compared these with the shape and the size of actual root and root canal.

**Results** : When the measuring value of cone beam computed tomography concerning to each root's bucco-lingual diameter and mesio-distal diameter was compared with the value of the actual root, it reveals an error range  $-0.49 \sim +0.63$  mm at PSR900N and  $-0.97 \sim +1.14$  mm at i-CAT ( $P > 0.05$ ). It was possible to identify and measure PSR 9000N™ Dental CT system to the limit  $0.48 \pm 0.06$  mm ( $P > 0.05$ ) and i-CAT CBCT to the limit  $0.86 \pm 0.09$  mm ( $P < 0.05$ ) on estimating the size and the shape of root canal. Two kinds of CBCT images revealed the useful reproducibility to estimate the shape of root, but there was the difference to estimate the shape of root according to apparatus. The reproducibility of root shape in the image of three-dimensions at PSR 900N is low such as 0.65 mm in a case of minute root canal.

**Conclusions** : CBCT images revealed higher accuracy of the imaging reformation for root and pulp and clinically CBCT is a useful diagnostic tool for the assessment of root and canal. However, there are different qualities of imaging reformation according to CBCT apparatus and limitation of reproducibility for minute root canals. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 165-70)

**KEY WORDS** : Radiography, Dental; Tomography, X-ray Computed; Tooth

### 서론

구의방사선사진과 파노라마방사선사진은 낮은 해상도로 인해 진단적 제약이 있으며, 구내방사선사진은 구외방사선 사진과 파노라마방사선사진에 비해 높은 해상도를 제공하여 치아 및 인접구조물에 대한 평가가 가능하나, 삼차원적

인 피사체의 중첩에 의한 정보의 오류가 존재한다. 또한 치아들의 형태적 다양성으로 인해 치근과 근관의 형태에 대한 평가 시 한계를 가지고 있어, 정확한 평가가 곤란한 경우가 많다.<sup>1,2</sup> 최근 치의학 분야의 영상진단, 특히 치아형태 변화의 영상진단에 있어서 일반 방사선사진과 더불어 디지털영상이 활발히 이용되고 있다.<sup>2</sup> 디지털영상은 방사선촬영에 컴퓨터기술을 적용시켜 디지털 형태로 영상을 획득, 처리, 저장, 재현시키고 원격전송도 가능하게 한 것으로, 방사선필름과 암실이 필요 없고, 환자에 대한 방사선노출을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 판독 시 영상의 조정이

접수일 : 2007년 7월 3일; 심사일 : 2007년 7월 4일; 채택일 : 2007년 8월 3일  
Correspondence to : Prof. Eui-Hwan Hwang  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Kyung Hee University #1 Hoigi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-701, Korea  
Tel) 82-2-958-9408, Fax) 82-2-965-1256, E-mail) hehan@khu.ac.kr

가능한 장점을 가지고 있기 때문에 진단 영상분야에서의 활용도가 점차 높아지고 있다.<sup>3-5</sup> 그러나 다양한 형태를 보이는 치근과 근관의 형태 평가에는 삼차원적 구조의 이차원 영상화에서 기인된 중첩에 의한 정보의 손실과 왜곡을 피할 수는 없다.<sup>6,7</sup> 이에 치근과 근관의 형태에 대한 삼차원적 구조의 영상화에 대한 요구가 있었으며, 이를 위한 다양한 연구들이 이루어진 바 있다.

치근과 근관에 대한 복잡한 해부학적 구조에 대한 정확한 진단학적 정보는 근관치료의 성공률을 높이는 데 중요하다. 이에 전산화단층영상을 이용한 다양한 연구가 이뤄졌는데, 발거된 치아를 대상으로 한 영상화와 해부학적 연구,<sup>8,9</sup> 근관형성 후 근관의 형태적 변화에 관한 연구<sup>10-12</sup> 등이 있으며, 이러한 연구들을 통하여 치아 구조에 대한 삼차원적 영상화와 체적의 계산 및 비파괴적인 삼차원 진단 정보를 얻고자 하였다. 또한 자기공명영상화 기법을 이용한 연구들도 이뤄졌다.<sup>13-15</sup> 하지만 전산화단층영상을 이용한 치근과 치근의 평가를 위한 연구에서 일반 전산화단층영상이 갖는 해상력 및 공간분해능의 한계성으로 인하여 치아 구조에 대한 정밀한 재현과 해부학적 구조에 대한 진단학적 평가 시 제약이 존재하였다.<sup>16</sup>

이러한 이유로 치아에 대한 비파괴적인 검사에 실험실 내에서 사용이 가능한 고해상력과 높은 공간분해능을 갖는 micro-CT가 이용되어졌다.<sup>11,12,17-19</sup> 하지만 이 장치는 작은 촬영범위와 오래 시간 동안 조사시간으로 인하여 단일 치아에 대한 실험적 연구에만 적용이 가능하다.

최근에 개발된 치과용 cone beam형 전산화단층영상은 기존의 전산화단층영상에 비하여 월등히 우수한 공간 분

해능 및 경조직에 대한 대조도가 향상되어 악안면영역에서 발생된 질환과 치아의 형태적 평가에 대한 진단학적 가치를 인정받고 있다.<sup>8</sup> 하지만 다양한 치근의 형태 및 근관의 미세구조로 인하여 치근의 영상의학적 판단가치에 대해서는 논란의 여지가 있다고 사료된다.

따라서 본 연구의 목적은 높은 공간분해능 및 정밀한 해부학적 구조의 재현이 가능한 치과용 cone beam형 전산화단층촬영장치를 통해 얻은 영상을 이용하여 영구치 치근과 근관 형태의 평가를 시행하여 치근과 근관에 대한 cone beam형 전산화단층영상의 진단학적 가치 및 평가기준을 제시하고, 재현 가능한 한계성을 제시함으로써 실제 임상에서 적용 시 유용성을 검증하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료

본 연구의 재료는 영구절치(4개), 소구치(11개), 대구치(9개) 모두 24개의 발거된 영구치를 실험 대상으로 하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 치아의 협설 및 근원심 폭경 측정

각 치아의 백악법랑경계부에서부터 3 mm 간격으로 협설 및 근원심 폭경을 digital caliper를 사용하여 측정 한 후 toluidine blue 용액에 24시간 이상 담근 후 resin block 포매 하였다 (Fig. 1).

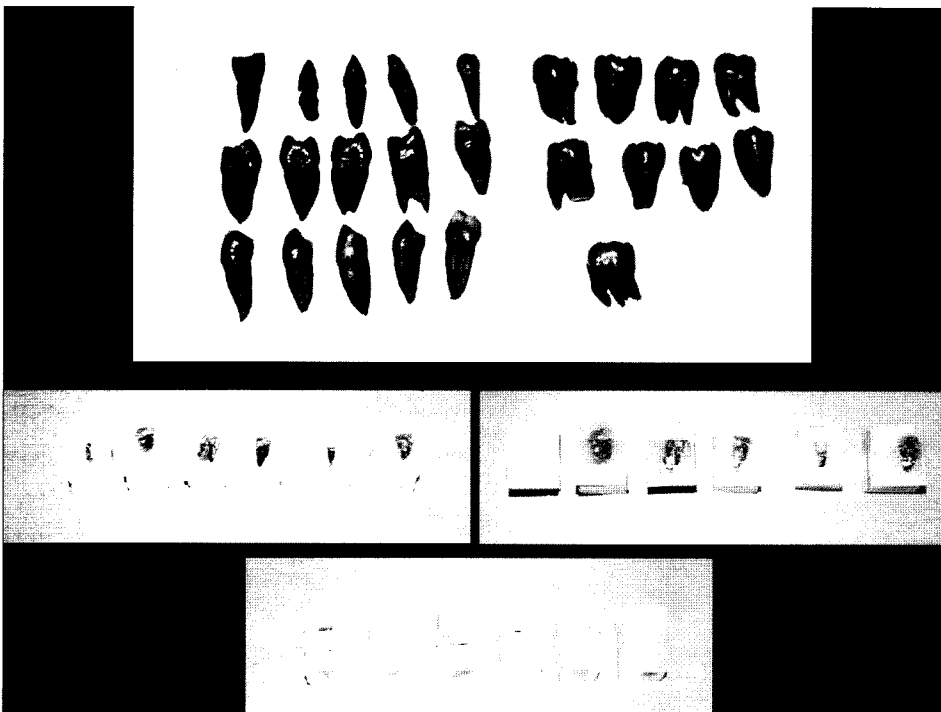


Fig. 1. Extracted permanent teeth and resin block formation.

2) 방사선사진촬영

(1) cone beam형 전산화단층영상 촬영

자체 개발한 원통형의 고정장치 안에 resin block을 위치시킨 후 촬영장치로는 PSR 9000N™ Dental CT system (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd, Kyoto, Japan)과 i-CAT (Imaging Sciences International, Inc, USA) cone beam CT unit을 이용하였다 (Fig. 2).

PSR 9000N™ Dental CT system에서는 dental mode로 촬영하였으며, 촬영조건은 관전압 80 kVp, 관전류 10 mA, 노출시간 13.3초 이었다. 촬영 후 얻어진 출력신호는 12 bit의 디지털 신호로 변환되어 workstation (Dual Xeon™ process or 2.8 GHz, USA)의 Windows XP™ (Microsoft Co., USA)상에서 운영되는 영상획득 및 환자 정보관리 software인 ADR software (Asahi Roentgen Ind. Co. Ltd., Japan)에서 410×410×400의 등장성의 0.1 mm 체적소의 크기로 이뤄지며 DICOM 3.0 format을 갖는 400매의 축상 단면영상을

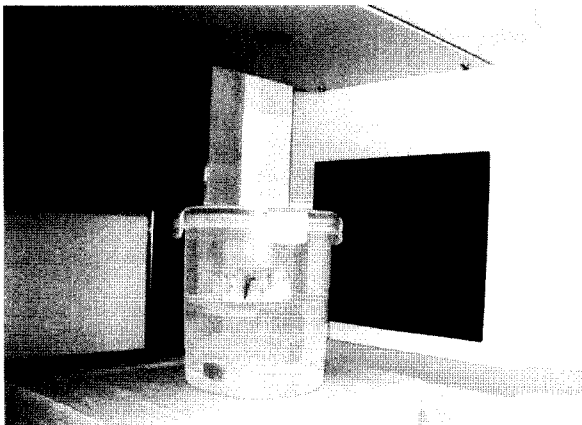


Fig. 2. Resin block placed in individualized phantom and i-CAT cone beam CT unit.

구성하는 41 mm의 직경과 40 mm의 높이의 volume data을 얻었다. i-CAT cone beam CT unit에서는 체적소의 크기를 0.2 mm로 설정하고, 촬영조건은 관전압 120 kVp, 관전류 6.5 mA, 노출시간 40초 이었으나 펄스방식의 조사조건에 의하여 실제 노출시간은 7.196초 이었다. 두가지의 촬영 후 얻은 전산화단층영상은 V-works 5.0 (CyberMed Inc., Korea) software를 사용하여, 삼차원영상 및 다면재구성영상을 평가하였다. 얻어진 영상의 다면재구성영상에서 단면의 두께는 각각의 체적소 크기와 일치하도록 설정하였고, 시상면, 관상면 및 횡단면 영상을 동일한 색조준위와 색조폭으로 조절하여 고해상도의 판독용 모니터 상에서 관찰하였다 (Fig. 4).

(2) 영상 평가기준

V-works 5.0 software를 이용하여 판독용 모니터에 전시된 다면 재구성영상 및 삼차원 구성영상에서 software에 존재하는 caliper로 0.01 mm 범위까지 측정하였다. 모든 영상의 계측과 평가는 동일한 판독조건에서 2명의 관찰자에 의해 이뤄졌으며, 계측점에 대한 실정은 관찰자간의 동의에 의해 행하여졌다.

3. 연구항목

1) 치근의 협-설 및 근-원심 폭경

resin block 포매 전에 기록한 치근의 직경을 측정하였던 부위를 두 종류의 cone beam형 전산화단층 영상의 다면재구성상에서 찾아 V-works 5.0 software의 caliper 기능을 이용하여 0.01 mm 범위까지 측정하였다.

2) 근관의 직경 및 길이

V-works 5.0 software의 caliper 기능을 이용하여 두 종류의 cone beam형 전산화단층 영상의 다면재구성상에서 0.01 mm 범위까지 측정하였다. 관찰자간 동일부위의 계측치의

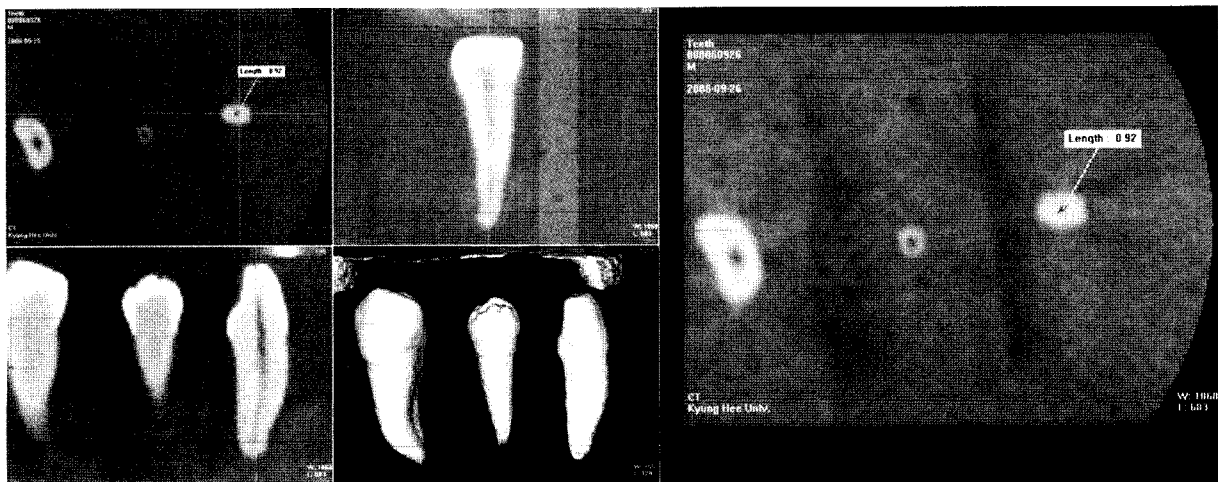


Fig. 3. MPR and 3D reconstruction images of mandibular premolars using Cone beam CT.

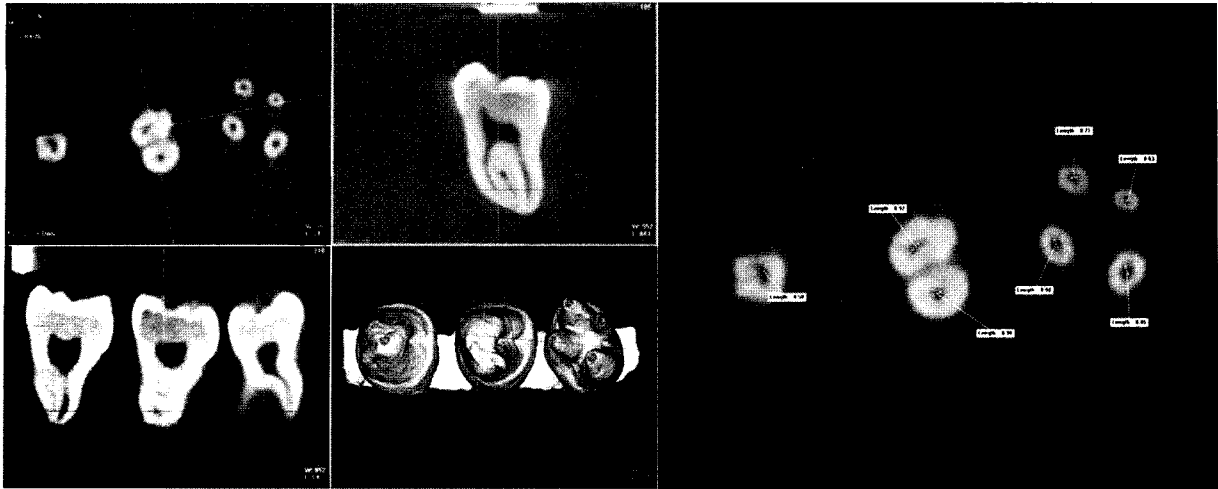


Fig. 4. Classification of images and measurement of pulp diameter.

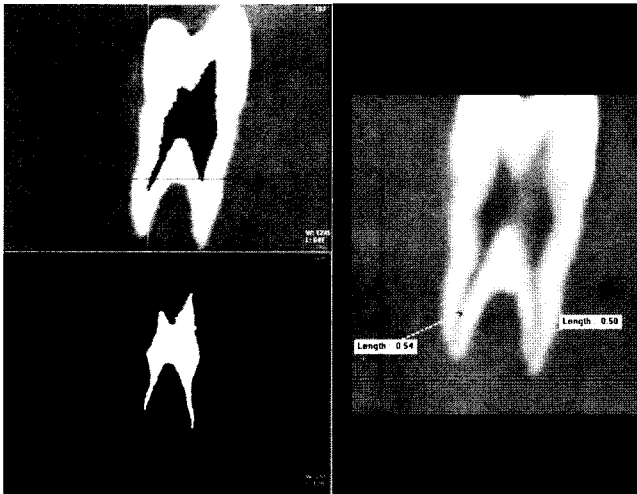


Fig. 5. 3D reconstruction of pulp canal for maxillary premolar.

차가 0.05 mm 이상인 경우에는 재계측하여 평균값을 구하였다. 영상학적 계측을 실행한 후 resin block 포매에서 실제 치근의 절단면을 얻어 근관의 존재 유, 무 및 협설 및 근원심 폭경을 digital caliper를 사용하여 측정하였다(Figs. 3, 4).

### 3) 통계학적 분석

각 연구항목을 통계분석하기 위하여 SPSS (version 11.0.1, SPSS Inc., USA) software를 이용하였으며, paired t-test로 유의수준 0.05% 수준에서 검정하였다.

## 결 과

1. 각 치근의 협-설적 폭경과 근-원심 폭경에 대한 cone beam형 전산화단층영상의 계측치는 실제 치근의 계측치와 비교 시, PSR-9000™ Dental CT system이  $-0.49 \sim +0.63$

mm, i-CAT cone beam CT unit이  $-0.97 \sim +1.14$  mm의 오차범위를 보였다 ( $P > 0.05$ ).

2. 근관의 형태 및 크기에 대한 평가시 PSR-9000™ Dental CT system은  $0.48 \pm 0.06$  mm ( $P > 0.05$ ) 한계에서, i-CAT cone beam CT unit는  $0.86 \pm 0.09$  mm ( $P > 0.05$ ) 한계까지 존재 확인 및 측정이 가능하였다.

3. 두 종류의 cone beam형 전산화단층영상에서 치근의 형태를 평가하는데 유용한 재현성을 보였으나, 촬영장치에 따라 설정된 근관 형태를 평가하는데 있어 차이를 보였다.

4. PSR-9000™ Dental CT system의 삼차원재구성영상에서 근관 형태의 재현성은 평균 0.65 mm 미만의 미세 근관의 경우에 재현성이 낮게 나타났다.

## 고 찰

성공적인 근관치료를 위해서는 치근의 형태 및 치관의 구조에 대한 해부학적 정보는 중요한 역할을 한다.<sup>8-12</sup> 치근에 존재한 파절선을 평가하는 것은 치료의 예후에 지대한 영향을 미친다고 할 수 있다. 또한 치아 발거술이나 치근단 절제술 등의 구강내 소수술에 대한 시행에서 치근 및 인접 해부학적 구조에 대한 삼차원적 이해는 술식의 성공과 술 후 합병증 예방하는데 중요하다. 이러한 임상학적 요구로 인해 다양한 영상의학적 접근을 통한 연구가 이뤄졌으나 실제 임상에 적용하는 데는 다양한 제약이 존재하였다.<sup>8-19</sup> 하지만 최근에 개발된 cone beam형 전산화단층영상은 우수한 공간분해능 및 경조직에 대한 대조도로 인해 악안면 영역의 악골질환 및 치아의 형태와 인접 구조물에 대한 진단학적 가치가 높다고 평가 받고 있다.<sup>8,20-23</sup> 그러나 각각의 촬영장치가 갖는 체적소 크기 및 검출기의 특성으로 인한 고유한 한계성이 존재하며, 이는 임상에서 다양한 치근의 형태와 근관의 구조에 대한 실질적인 진단학적 평

가 시의 가치에 대해서는 연구가 미비한 편이다.

Cone beam형 전산화단층영상은 악골 및 치아에 대한 새로운 진단학적 접근법으로 인식되고 있는데, 이는 작은 등장성의 체적소로 구성되는 삼차원적인 volume data로부터 공간적 왜곡의 발생이 적은 다면영상재구성영상과 삼차원 재구성영상을 이용하여 진단학적 가치를 높일 수 있고, 상대적으로 높은 공간분해능을 제공하기 때문이라고 알려져 있다. 더욱이 기존의 일반방사선촬영에 비하여 상당히 낮은 흡수선량과 유효선량을 보이는 것으로 보고되고 있다.<sup>24-27</sup>

본 연구에서는 실험적으로 발거 된 치아에 대한 영상화를 시행하였지만 실제 인체를 대상으로 한 영상화 과정에서도 비침습적인 진단이 가능하다. 이에 본 연구에서는 발거된 치아에 대한 치근과 근관의 형태를 실험적으로 평가함으로써 실제 임상에 적용 시 어느 정도의 진단학적 가치를 가질 수 있는지를 평가하고자 하였다. 또한 두 가지 종류의 각기 다른 기계적 특성을 갖는 cone beam형 전산화단층촬영장치를 이용한 영상 평가를 통하여 각 장치에 따른 체적소 크기, 검출기 조건 및 조사 조건의 차이가 치근과 근관의 형태적 평가에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

본 연구에서 각 치근의 협-설적 폭경과 근원심 폭경에 대한 cone beam형 전산화단층영상의 계측치는 실제 치근의 계측치와 비교시, PSR-9000N™ Dental CT system이  $-0.49 \sim +0.63$  mm, i-CAT cone beam CT unit이  $-0.97 \sim +1.14$  mm의 오차범위를 보였으며 실제 치근에서 계측치와 영상학적 계측치와의 비교평가 시 계측치간의 차이에 대한 통계적 유의성은 존재하지 않았다. 또한 근관의 형태 및 크기에 대한 평가 시 PSR-9000N™ Dental CT system은  $0.48 \pm 0.06$  mm ( $P > 0.05$ ) 한계에서, i-CAT cone beam CT unit은  $0.86 \pm 0.09$  mm ( $P < 0.05$ ) 한계까지 존재 확인 및 측정이 가능하였다. 이러한 결과로부터 두 종류의 CBCT 영상에서 치근의 형태를 평가하는데 유용한 재현성을 보였으나, 촬영장치에 따라 설정된 근관 형태를 평가하는데 있어 차이를 보였다. 이는 PSR-9000N™ Dental CT system 장치는 0.1 mm 체적소 크기로, i-CAT cone beam CT unit 장치는 0.2 mm의 체적소 크기에 의해 영상을 획득하게 되는데, 거리 상으로는 2배의 차이는 보이지만 삼차원적인 농도 구배에서는 8배의 차이를 갖게 됨으로써 미세 구조에 대한 형태적 재형성이 PSR-9000N™ Dental CT system이 높게 나왔다고 할 수 있다.

등장성의 체적소에 의한 영상화가 이뤄짐으로써 기존의 일반전산화단층촬영장치에 비하여 partial volume effect에 의한 영향을 적게 받게 된다.<sup>8</sup> 이러한 영향은 삼차원재구성 영상에도 영향을 미치게 되는데,<sup>11,12</sup> 비록 cone beam형 전산화단층영상이 일반전산화단층영상을 이용한 삼차원재구성영상에 비교하여 그 영향은 적다고 할 수 있으나, 삼차

원재구성 시 적용되는 수학적 계산 및 임계치 값의 설정 등에 의한 정보의 손실이 발생되게 되어 다면영상재구성 상에서보다 진단학적 오류를 범할 수 있는 가능성을 높인다.<sup>28-30</sup> 본 연구에서도 PSR-9000N™ Dental CT system을 이용한 삼차원재구성영상에서 근관 형태의 재현성은 평균 0.65 mm 미만의 미세 근관의 경우에 재현성이 낮게 나타났는데 이는 삼차원재구성 시 체적소의 농도값에 따른 분해능의 차이와 정보의 소실에서 기인한 것으로 사료된다.

본 연구에서 실험적으로 시행한 치아의 치근과 근관의 형태에 대한 해부학적 평가 시 cone beam형 전산화단층영상은 비록 장치에 따른 재현성의 차이를 보이지만 진단학적 가치를 인정받을 수 있다고 사료된다. 하지만 실제 인체를 대상으로 한 영상은 주변의 해부학적 구조들과 보다 복잡한 조직학적 구성에 의해 본 연구의 결과와 차이를 보일 수 있으므로 이에 대한 지속적인 연구와 평가가 이뤄져야 한다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. American Dental Association and U.S. Department of Health and Human Services. The selection of patients for dental radiographic examinations. Chicago: American Dental Association; 2004.
2. White SC, Heslop EW, Hollender LG, Mosier KM, Ruprecht A, Shro-ut MK. American academy of oral and maxillofacial radiology, ad hoc committee on parameters of care. Parameters of radiologic care: An official report of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2001; 91 : 498-511.
3. Furkart AJ, Dove SB, McDavid WD, Nummikoski P, Matteson S. Direct digital radiography for the detection of periodontal bone lesions. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1992; 74 : 652-60.
4. Holtzmann DJ, Johnson WT, Southard TE, Khademi JA, Chang PJ, Rivera ER. Storage-phosphor computed radiography versus film radiography in the detection of pathologic periradicular bone loss in cadavers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1998; 86 : 90-7.
5. Macdonald R. Digital imaging for dentists. Aust Dent J 2001; 46 : 301-5.
6. Choi YS, Kim GT, Hwang EH. Basic principle of cone beam computed tomography. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2006; 36 : 123-9
7. Choi YS, Hwang HE, Lee SR. Clinical application of cone beam computed tomography in dental implant. J Korean Dent Assoc 2006; 44 : 172-9.
8. Hannig C, Dullin C, Hülsmann M, Heidrich G. Three dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector CT-an ex vivo in vitro case report. Int Endod J 2005; 38 : 904-13.
9. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. In Endod J 2001; 34 : 221-30.
10. Paqué F, Barbakow F, Peters OA. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. Int Endod J 2005; 38 : 456-64.
11. Peters OA, Laib A, Rueggeger P, Barbakow F. Three-dimensional

- analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res* 2000; 79 : 1405-9.
12. Peters OA, Peters CI, Schonenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J* 2003; 36 : 86-92.
  13. Asmussen E. NMR-Analysis of monomers in restorative resins. *Acta Odontol Scand* 1975; 33 : 129-34.
  14. Baumann MA, Doll GM, Zick K. Stray field imaging (STRAFI) of teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993; 75 : 517-22.
  15. Lockhart PB, Kim S, Lund NL. Magnetic resonance imaging of human teeth. *J Endod* 1992; 18 : 237-41.
  16. Youssefzadeh S, Gahleitner A, Dorffner R, Bernhart T, Kainberger FM. Dental vertical root fractures: value of CT in detection. *Radiology* 1999; 210 : 545-9.
  17. Oi T, Saka H, Ide Y. Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J* 2004; 37 : 46-51.
  18. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. A comparison of two nickel-titanium instrumentation techniques in teeth using micro-computed tomography. *Int Endod J* 2000; 33 : 279-85.
  19. Rhodes JS, Pitt Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J* 1999; 32 : 165-70.
  20. Nakagawa Y, Kobayashi K, Ishii H, Mishima A, Ishii H, Asada K, et al. Preoperative application of limited cone beam computerized tomography as an assessment tool before minor oral surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002; 31 : 322-6.
  21. Hamada Y, Kondoh T, Noguchi K, Iino M, Isono H, Ishii H, et al. Application of limited cone beam computed tomography to clinical assessment of alveolar bone grafting: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J* 2005; 42 : 128-37.
  22. Hashimoto K, Kawashima S, Araki M, Iwai K, Sawada K, Akiyama Y. Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. *J Oral Sci* 2006; 48 : 27-34.
  23. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95 : 371-7.
  24. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 219-26.
  25. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extra-oral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 229-34.
  26. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol* 2005; 56 : 413-7.
  27. Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2004; 33 : 83-6.
  28. Ney DR, Fishman EK, Magid D, Robertson DD, Kawashima A. Three-dimensional volumetric display of CT data: effect of scan parameters upon image quality. *J Comput Assist Tomogr* 1991; 15 : 875-85.
  29. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003; 6 : 31-5.
  30. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreais IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998; 8 : 1558-64.