

Cone beam형 전산화단층영상에서 골의 형태와 밀도의 평가

경희대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실, *경희대학교 치과대학 구강생물학연구소
홍상우 · 김규태 · 최용석* · 황의환*

Evaluation of imaging reformation with cone beam computed tomography for the assessment of bone density and shape in mandible

Sang-Woo Hong, Gyu-Tae Kim, Yong-Suk Choi*, Eui-Hwan Hwang*

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

*Institute of Oral Biology, School of Dentistry, Kyung Hee University

ABSTRACT

Purpose : Diagnostic estimation of destruction and formation of bone has the typical limit according to capacity of x-ray generator and image detector. So the aim of this study was to find out how much it can reproduce the shape and the density of bone in the case of using recently developed dental type of cone beam computed tomography, and which image is applied by new detector and mathematic calculation.

Materials and Methods : Cone beam computed tomography (PSR 9000N, Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Japan) and soft x-ray radiography were executed on dry mandible that was already decalcified during 5 hours, 10 hours, 15 hours, 20 hours, and 25 hours. Estimating and comparing of those came to the following results.

Results : The change of inferior border of mandible and anterior border of ramus in the region of cortical bone was observed between first 5 and 10 hours of decalcification. The reproduction of shape and density in the region of cortical bone and cancellous bone can be hardly observed at cone beam computed tomography compared with soft x-ray radiography. The difference of decrease of bone density according to hours of decalcification increase wasn't reproduced at cone beam computed tomography compared with soft x-ray radiography.

Conclusion : CBCT images revealed higher spatial resolution. However, contrast resolution in region of low contrast sensitivity is the inferiority of images' property. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2008; 38 : 49-56)

KEY WORDS : Bone Density; Tomography, Cone-Beam Computed

서 론

방사선학적 검사에 의한 골의 형성 및 파괴에 대한 평가 시 골형성 단계에 대한 영상의학적 기준은 각각의 발생장치의 성능과 상수용기에 대한 특성에 의해 고유한 진단학적 한계성을 가지고 있다. 골의 형성과 손실이 발생될 때 일정한 수준 이상의 무기질의 상실이 존재하기 전까지는 방사선학적 불현기가 존재하는데, 이는 검사 방법에 따라서 각기 다른 차이를 보인다.¹

특히, 악안면영역의 수술 후 골형성과 임플란트 시술을 위한 골재생 및 발치와 손상회복의 평가에 있어 골밀도에 대한 정보는 중요한 진단학적 가치를 가진다고 할 수 있다.²⁻⁵ 특히 임플란트 시술시 식립부위에 대한 골 형태와 밀도에 대한 평가는 수술의 성공과 예후에 미치는 영향이 크다고 하겠다. 그러므로, 임플란트 식립부위에서 골 형태와 밀도에 대한 정보는 다양한 방법을 통하여 평가하게 되는데, 이를 위한 진단학적 방법으로는 DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry),⁶ QCT (Quantitative Computed Tomography)⁷ 등이 있으며, 일반 방사선사진 상에서 흑화도나 PMI (Panoramic mandibular index),⁸ MCI (Mandibular cortical index)⁹을 측정하여 골밀도를 예측하거나 전산화단층영상 (Computed Tomography, CT)의 Hounsfield Unit에 의한 골밀도를 산출해 내는 방법¹⁰⁻¹² 등이 있다.

*이 연구는 2006년도 경희대학교 연구비 지원 결과임 (KHU-20060497).

접수일 : 2008년 1월 11일; 심사일 : 2008년 1월 14일; 채택일 : 2008년 2월 12일

Correspondence to : Assit. Prof. Yong-Suk Choi

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Kyung Hee University, #1 Hoigi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-701, Korea

Tel) 82-2-958-9406, Fax) 82-2-965-1256, E-mail) omrcys@khu.ac.kr

악안면영역의 수술과 임플란트를 위한 치료계획 수립 시 전산화단층영상에 대한 진단학적 요구가 급속히 증가되고 있으며,^{13,14} 최근에 개발된 치과용 cone beam형 전산화단층영상은 새로운 검출기의 사용과 수학적 계산에 의해 영상을 전시하는 바¹⁵⁻¹⁹ cone beam형 전산화단층영상에서 골의 형태와 밀도에 대한 재현에 관한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 높은 공간 분해능 및 정밀한 해부학적 구조물의 재현이 가능한 치과용 Cone beam형 전산화단층촬영장치 (cone beam computed tomography: CBCT)를 통해 얻은 영상을 이용하여 건조하악골에서 각기 다른 골 형태와 밀도를 가진 실험체에 대한 진단학적 평가에 대한 연구를 시행 함으로서, 골밀도의 변화에 따른 형태적 변화 및 농도값의 변동을 측정하여 cone beam형 전산화단층영상의 진단학적 가치를 평가하고 이를 임상에 적용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

하악체 및 하악지가 건전한 건조하악골을 사용하였다 (Figs. 1, 2).

2. 연구방법

하악골을 하악체, 하악지 및 하악과두 부위에서 각각 두께 3 mm로 절제한 후 다시 원 위치에 복원하여 저자들이 고안한 원통형의 고정장치 안에 하악골을 고정시킨 후 주변부를 생리식염수로 채우고 cone beam형 전산화단층촬영을 시행하였다. 이후 절제된 골편을 탈회액인 Calci-clean Rapid (National Diagnostic Co., USA) 사용하여 5시간, 10시간, 15시간, 20시간, 25시간 간격으로 탈회한 후 cone beam

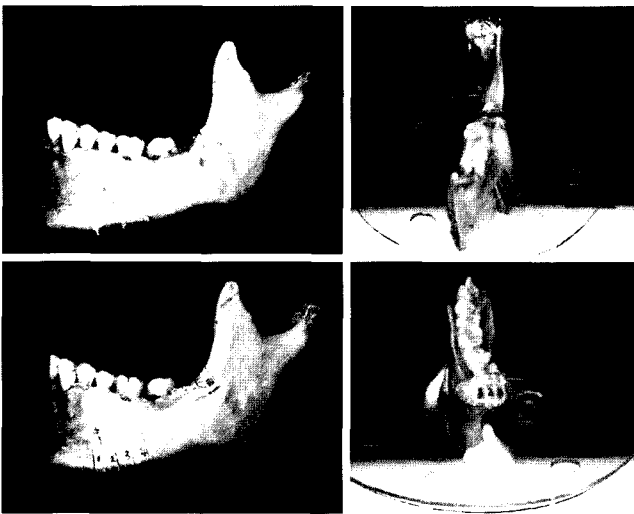


Fig. 1. Dry mandible with 3 mm slice at mandibular body, ramus and condylar head.



Fig. 2. Soft x-ray images of mandible before decalcification.

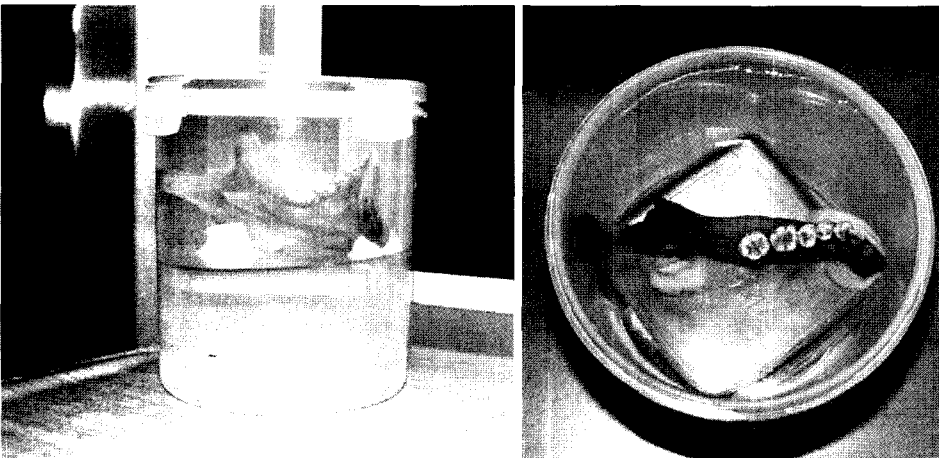


Fig. 3. Individualized phantom filled with normal saline and placed in dry mandible.

형 전산화 단층촬영 및 연X선 촬영을 시행하였으며, 이들 영상을 영상분석 software를 사용하여 객관적으로 비교 분석하였다(Fig. 3).

1) 방사선사진촬영

(1) cone beam형 전산화단층영상 촬영

촬영장치로는 PSR-9000N™ Dental CT system (Asahi

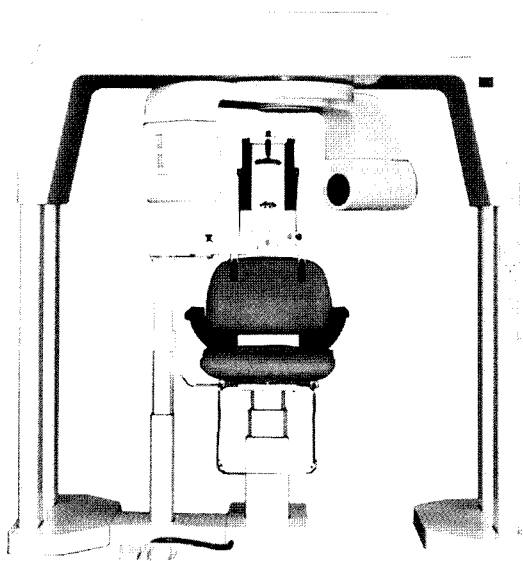


Fig. 4. Apparatus of cone beam computed tomography (PSR 9000N, Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Japan).

Roentgen Ind. Co., Ltd, Kyoto, Japan)을 이용하였다(Fig. 4). 각 피검체의 하악하연이 바닥평면과 평행이 되도록 고정 장치로 건조 하악골을 고정시킨 후, dental CT 모드로 촬영하였다. 촬영조건은 관전압 80 kVp, 관전류 10 mA, 노출시간 13.3초이었으며, 영상획득 후 영상의 모든 데이터는 출력신호는 12 bit의 디지털 신호로 변환되어 workstation (Dual Xeon™ processor 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 등장성인 0.1 mm voxel 크기로 구성되며, DICOM 3.0 format을 가지는 400매의 축상 단면상에서 얻어진 41 mm의 직경과 40 mm의 volume data에 대해 V-works 5.0 (CyberMed Inc., Korea) software를 사용하여, 다면재구성영상을 평가하였다. 얻어진 영상의 다면재구성영상에서 단면의 두께는 0.1 mm로 하였다(Fig. 5).

(2) 연X선사진 관찰

연X선사진촬영에 사용된 X선 발생장치는 Hitex HA-80 (Hitex Co., Ltd., Japan)이었고, 사용된 필름은 Fuji X-ray FR (Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan)이었으며, X선 촬영조건은 관구와 필름간의 거리가 60 cm, 관전압 30 kVp, 관전류 2.5 mA, 조사시간은 20초이었다. 촬영된 필름은 20°C에서 Rendol (Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan)으로 2분간 현상하였으며, RenFix (Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan)로 4분간 정착하였고, 수세, 건조한 후 관찰하였다.

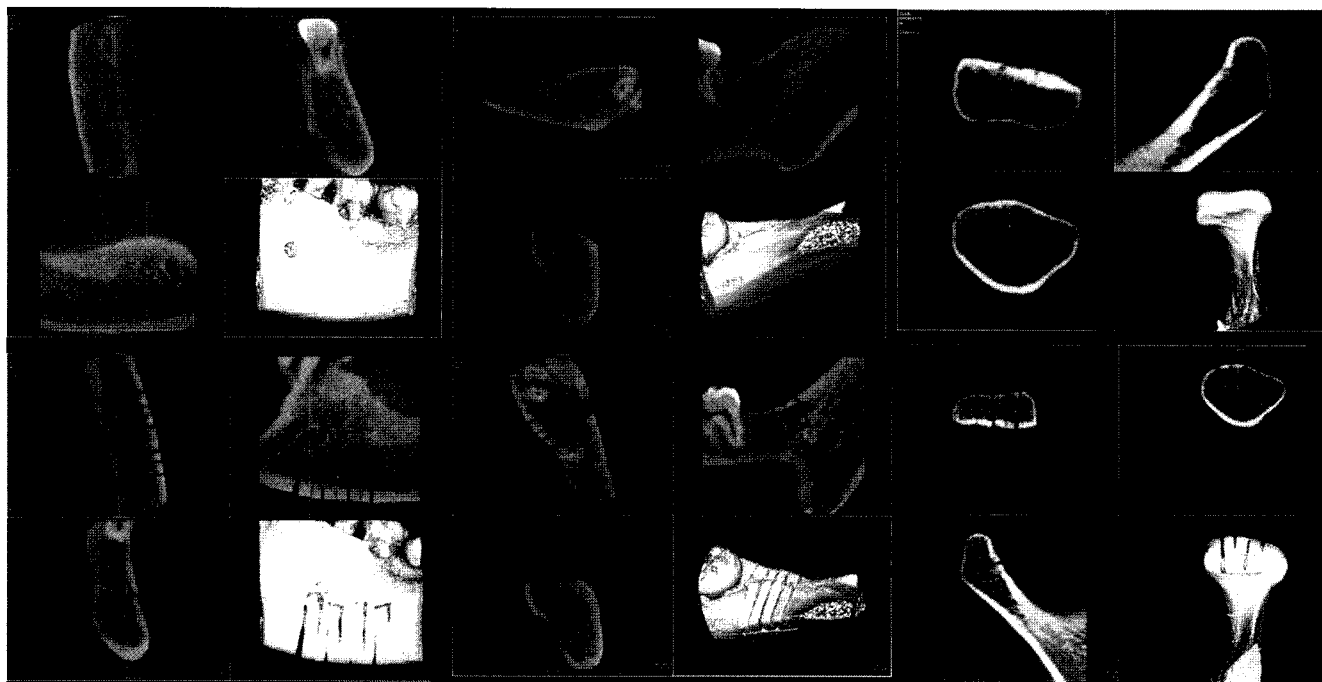


Fig. 5. MPR (multiplanar reconstruction) and 3D reconstruction images using cone beam computed tomography.

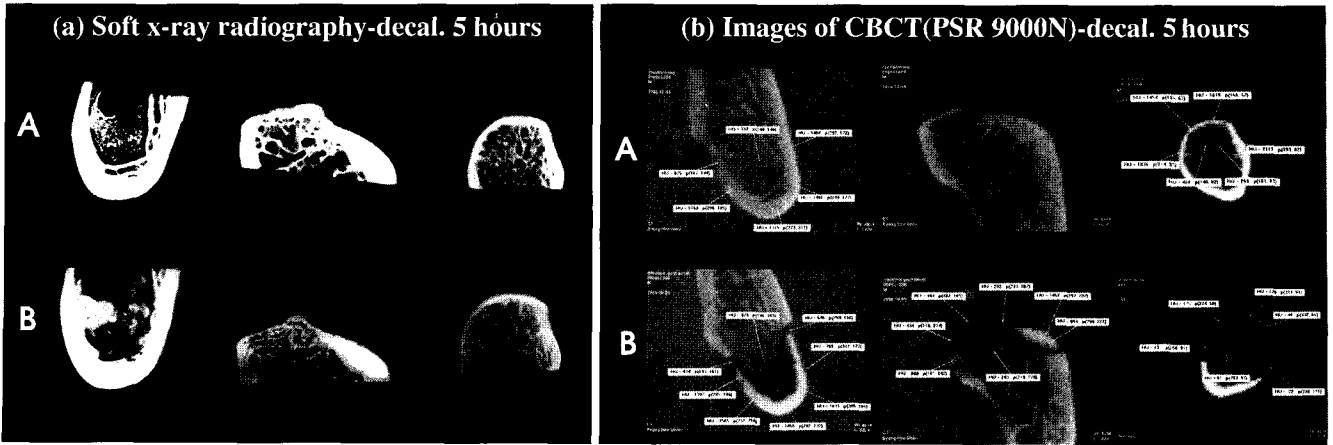


Fig. 6. Images of soft x-ray radiography (a) and Cone beam computed tomography (b) are executed on dry mandible that is already decalcified during 5 hours.

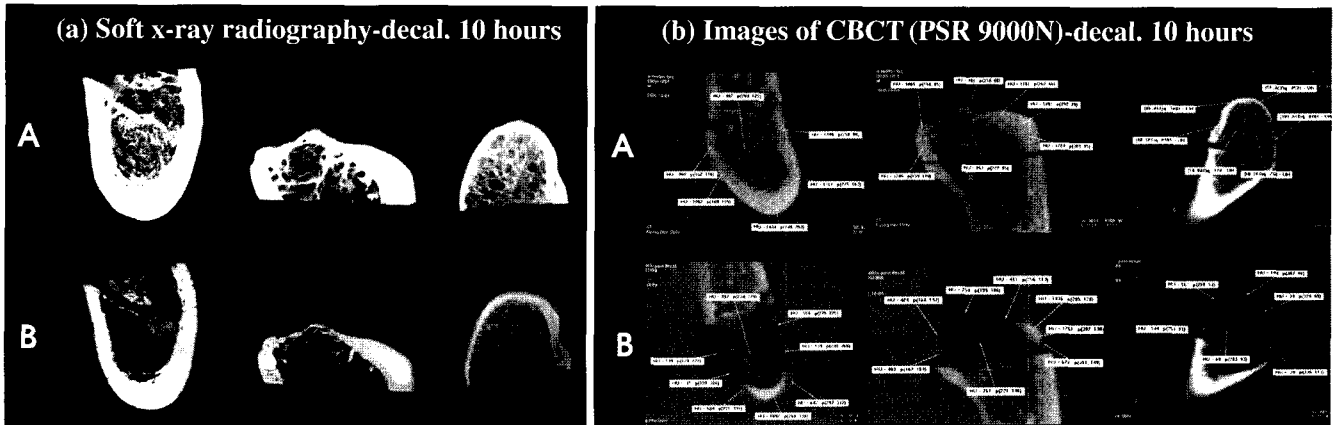


Fig. 7. Images of soft x-ray radiography (a) and Cone beam computed tomography (b) are executed on dry mandible that is already decalcified during 10 hours.

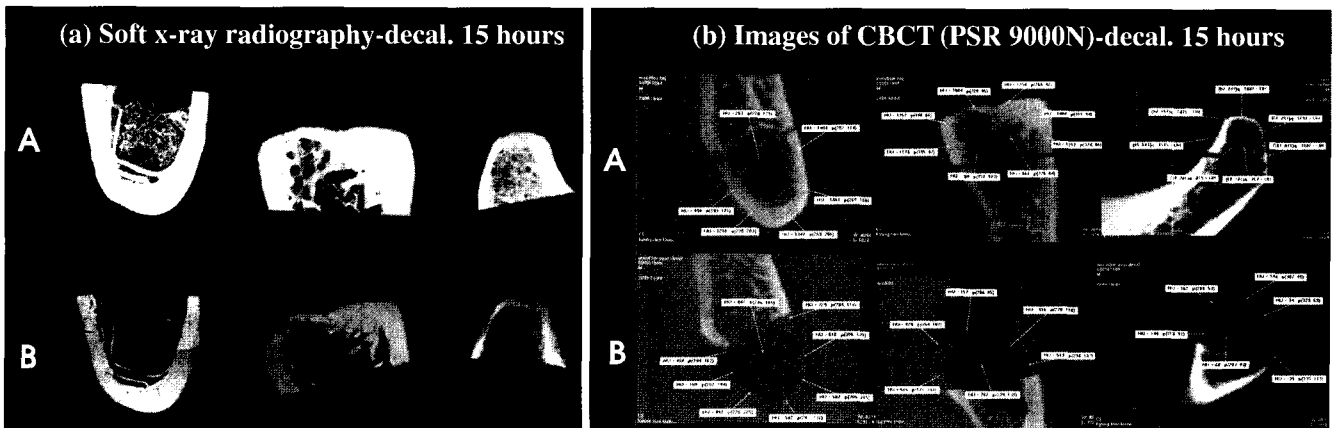


Fig. 8. Images of soft x-ray radiography (a) and Cone beam computed tomography (b) are executed on dry mandible that is already decalcified during 15 hours.

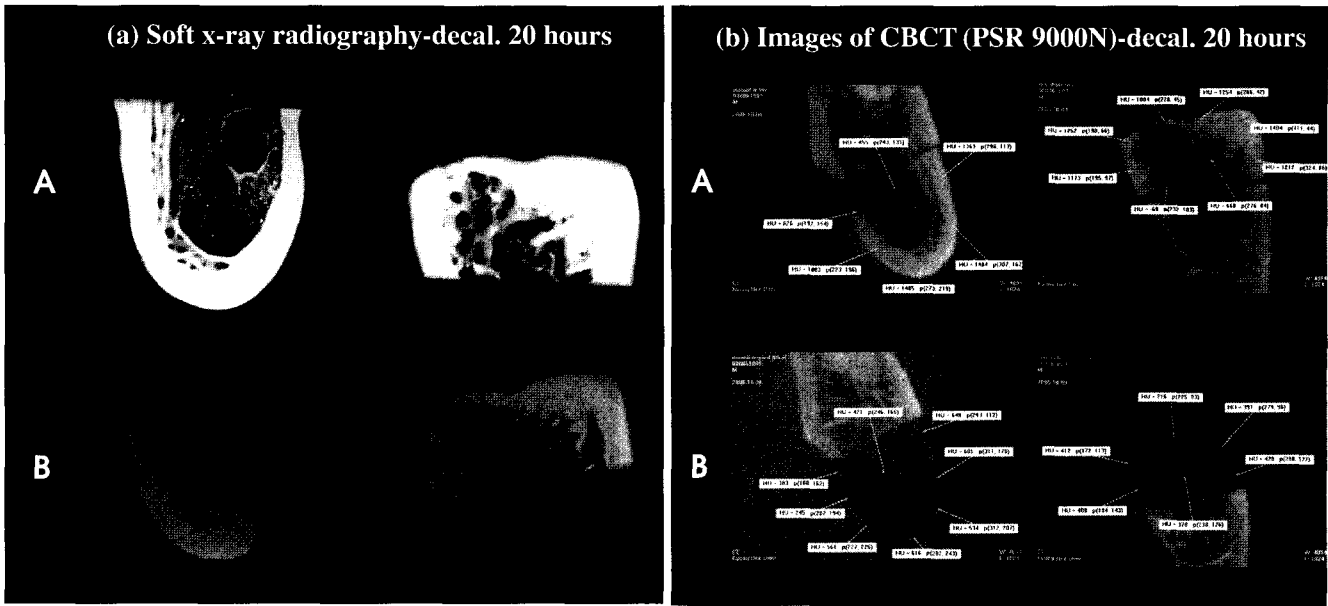


Fig. 9. Images of soft x-ray radiography (a) and Cone beam computed tomography (b) are executed on dry mandible that is already decalcified during 20 hours.

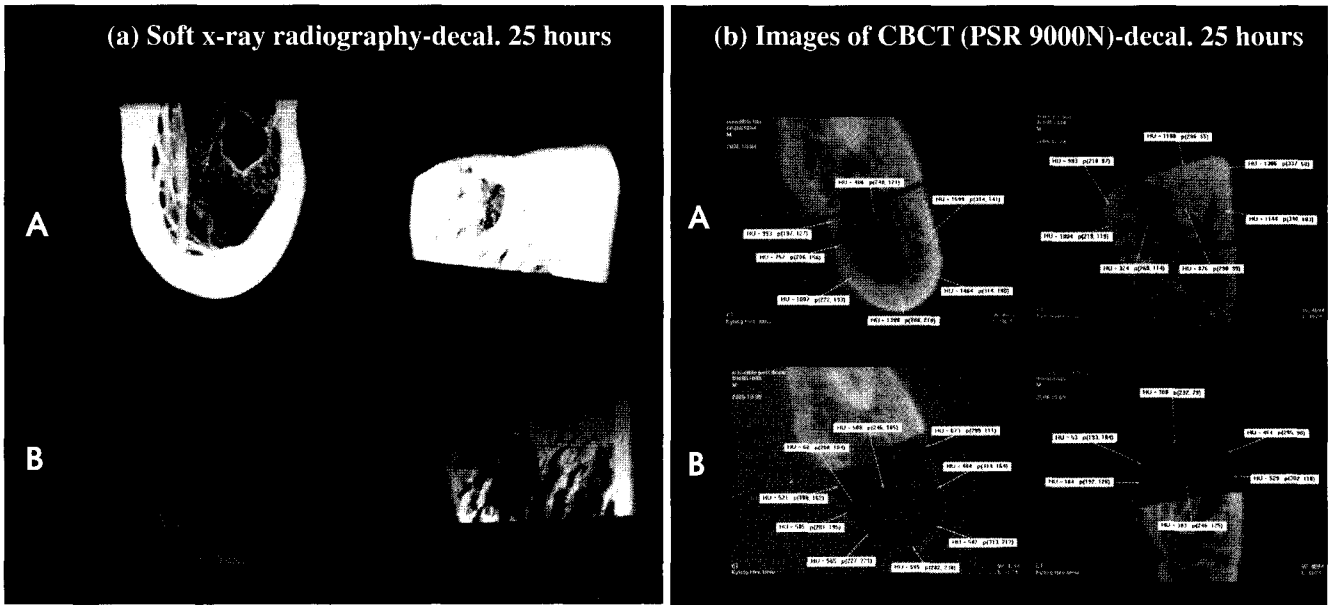


Fig. 10. Images of soft x-ray radiography (a) and Cone beam computed tomography (b) are executed on dry mandible that is already decalcified during 25 hours.

3. 연구 항목

1) 영상 평가기준

Cone beam형 전산화단층영상의 평가는 0.1 mm의 단면 간격을 가지는 400매의 관상면 영상에 대해 V-works (version 5.0, CyberMed Inc., Korea) software를 사용하여, 삼차원영상재구성 및 다면영상재구성을 시행하였다. 얻어진 영

상의 다면영상재구성에서 단면의 두께는 0.1 mm로 하였고, 시상면, 관상면 및 횡단면 영상을 동일한 색조준위와 색조폭으로 조절하여 고해상도의 판독용 모니터에서 관찰하였다 V-works5.0 software로 골의 농도값을 측정하여 정량적으로 평가하였다.

원X선사진은 scanmaker i 800 scanner (Microtek. co. Ltd., USA)를 사용하여 2,500 dpi의 해상도와 16 bit 회색조를 갖

는 조건으로 주사 후 얻어진 영상을 STARPACS (Infinit Co., Ltd. Korea) software 상에서 Dicom format으로 영상 변환하고 관심영역의 농도값을 측정하여 정량적으로 cone beam형 전산화단층영상과 비교 평가하였다(Figs. 6-10).

결 과

1. Cone beam형 전산화단층영상에서 하악하연과 하악지 전연 피질골 부위의 형태와 밀도의 변화가 탈회 5시간과 10시간에서 관찰되었다.
2. 연X선사진에 비해 cone beam형 전산화단층영상에서는 탈회 시간에 따른 피질골과 해면골 부위의 형태적 변화가 뚜렷하게 관찰되지 않았다.
3. 연X선사진에 비해 cone beam형 전산화단층영상에서는 탈회 시간의 증가에 따른 골밀도 감소의 차이가 재현되지 않았다.

고 찰

골질을 예측하는 가장 일반적인 방법은 방사선사진을 이용하는 것이다. 흔히 QCT를 이용하여 BMD (bone mineral density)를 측정하는 방법으로 골질을 예측하거나,⁷ 가장 정확한 정량적 분석을 위해서는 DEXA를 이용한 골밀도 측정법을 사용하지만,⁶ 영상획득 및 처리과정 자체가 고가이고 치과에서 장비를 구비하기가 어려워 그 이용에 한계가 있다. 또한 전산화 단층촬영을 시행한 후 관심영역의 Hounsfield Unit으로 골밀도를 측정하거나,¹⁰⁻¹² 흑화도계를 이용하여 골밀도를 예측하는 것이 가능하다.^{8,9} 그럼에도 불구하고 아직 까지 대부분의 임상들이 임플란트 식립 전에 골질의 평가를 위해서 가장 선호하는 방사선영상은 파노라마방사선사진이다. 그러나 파노라마방사선사진이나 치근단 방사선사진은 동일한 개체를 촬영한다고 하더라도 그 촬영조건 및 필름의 처리 과정에 따라 방사선사진 상에서의 흑화도 및 대조도가 매우 광범위한 차이를 보이기 때문에 악골의 골질을 정량화하는 데 문제점이 있다.

임플란트 식립 시 성공률을 높이고 예후를 예견하기 위해서는 식립부위의 골의 밀도와 형태뿐만 아니라 단면영상을 통한 악골의 해부학적 구조에 대한 진단 정보가 필수적이라 할 수 있다. 이러한 목적에서 단층촬영이나 전산화단층촬영과 같은 절단면 영상이 요구되며, 이로 인해 치과용 cone beam형 전산화단층촬영장치에 대한 임상적 요구가 증가되고 있다.¹⁷⁻¹⁹

임플란트 식립 부위의 골밀도는 장기적으로 악골 내 식립된 임플란트의 성공률을 결정짓는 중요한 요소 중의 하나이다.²⁰ Misch^{2,3}는 임플란트의 성공률을 높이기 위해서는 우선 골질에 대한 평가가 있어야 하며, 골질이 좋지 않은 부위에 식립한 임플란트는 그렇지 않은 경우보다 더 긴

치유기간과 점진적 부하가 필수적이라고 하였다.

골강도를 결정하는데 있어서 골량에 의한 밀도뿐만 아니라 골의 형태적 구조도 중요한 역할을 한다.^{21,23} 이는 골의 물리적 특성을 결정하는데 해면골의 형태적 변화가 많은 영향을 주는 것을 의미하며, 골질의 평가 시 골의 밀도뿐만 아니라 형태에 관한 진단학적 정보가 요구된다고 하겠다. 본 실험에서 건조 하악체를 대상으로 하여 골의 밀도와 형태적 변화를 유도하기 위해 산을 이용한 탈회를 시도하였는데 이러한 실험적 방법은 실제 인체에서 발생하는 골 소실 또는 골량과 골질의 변화와는 많은 차이가 있으나, 실험적 접근이 쉽고 시간이 지남에 따른 구조적 변화를 야기함으로써 이에 대한 변화를 관찰하기에 적절하다고 하였다.²⁴ 이에 본 연구에서도 연구 목적에 부합된 실험방법으로 산을 이용한 시간 순차적인 악골의 탈회를 유도한 후 이에 대한 cone beam형 전산화단층영상촬영을 시행하여 연X선 사진소견과 비교함으로써 cone beam형 전산화단층영상의 진단학적 가치를 평가코자 하였다. 실험결과 탈회 5시간과 10시간에서 하악하연 및 하악지 전연의 피질골에서 비탈회 부위에 대한 cone beam형 전산화단층영상의 재현성이 관찰되었으나, 하악과두에서는 관찰되지 않았고, 실험 전 과정에서 연X선 사진상에서 관찰되는 피질골 및 해면골의 탈회된 부위에 대한 형태적 재현성은 관찰되지 않았다. 또한, 연X선 사진상에서 관찰되었던 탈회 시간이 증가에 따른 골 밀도와 형태적 변화를 cone beam형 전산화단층영상에서 관찰할 수 없었다. 이러한 결과는 탈회가 시작되어 진행되는 과정에서 일어나는 골밀도의 점진적인 변화를 영상화하는데 전산화단층영상의 한계성을 갖고 있다고 볼 수 있으며, 이러한 이유로 상대적으로 낮은 선량을 이용함으로써 발생하는 영상의 질 저하로 인한 대조도 분해능의 감소와 함께 이차원적 평면 검출기를 사용함으로써 생기는 산란방사선으로 인한 신호대 잡음비의 저하를 들 수 있다.¹⁶⁻¹⁸

골질을 평가하는 가장 확실한 방법은 직접 골생검을 시행하여 확인하는 방법일 것이다. 실제적으로 Trisi 등²⁵과 Friberg 등²⁶은 골생검을 시행하여 조직형태계측학적 분석을 통해 골질을 평가하였다. 그러나 골 결손부의 회복 정도와 임플란트 식립부위의 골질 평가를 위해 골생검을 시행하는 것은 어려운 점이 있으며, 특히 골이식재를 이용한 골형성을 유도하였을 경우에는 더욱이 그러하다. 많은 임상들이 일반방사선사진이나 파노라마방사선사진을 평가하고 골의 회복과 골의 질을 평가하게 되는데 이는 구조물의 증첩에 의하거나 촬영 시 조건과 상수용기의 특성에 따라 다양한 흑화도와 재현성이 떨어지는 영상학적 특징을 보이므로 이를 통하여 다음 치료 계획을 수립하는 경우 진단학적 오류를 범할 수 있는 가능성이 커진다. 이에 전산화단층영상에서 Hounsfield Unit를 이용한 골의 밀도를 추측해 가거나 다면영상재구성상에서 얻는 삼차원적인

구조에 대한 정보가 필요하다. 하지만 일반전산화단층영상 검사는 상대적으로 높은 흡수선량과 유효선량을 보이고, ^{27,28} 낮은 해상력과 공간분해능으로 인해 치아 및 악골에서 골변화에 대한 정확한 진단학적 정보를 얻는데 한계가 존재한다. 이에 최근에 개발되어 임상에 적용되고 있는 cone beam형 전산화단층영상은 악골 및 치아에 대한 새로운 진단학적 접근법으로 인식되고 있는데, 이는 작은 등장성의 체적소로 구성되는 삼차원적인 체적정보로부터 공간적 왜곡의 발생이 적은 다면영상재구성과 삼차원재구성영상을 통하여 진단학적 가치를 높일 수 있고, 높은 공간분해능을 제공하기 때문이라고 알려져 있다.¹⁵⁻¹⁹ 더욱이 기존의 일반방사선촬영에 비하여 상당히 낮은 흡수선량과 유효선량을 보이는 것으로 보고되고 있다.^{27,28} 비록 본 연구의 결과 탈회과정 중에 골 무기질의 변화에 대한 재현이 낮게 나타났지만, 악골내 존재하는 석회화된 골소주에 대한 미세한 형태의 재현이 가능함으로써 임상적 적용이 가능하리라 사료된다.

이와 같이 악골의 골밀도의 변화에 따른 형태적 재현에 관한 cone beam형 전산화단층영상의 임상적 의의에 관하여서는 다소 논란의 여지가 있으나, 진단학적 가치를 주는 영상화가 가능하며, 정확한 진단을 위하여서는 향후 악골의 형태와 밀도 변화는 물론 해부학적 구성요소들의 다양한 변화에 관하여서도 초음파 또는 자기공명영상과 같은 다양한 영상의학적 방법과 조직학적 방법을 병용한 상세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- White SC, Heslop EW, Hollender LG, Mosier KM, Ruprecht A, Shroot 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.
- Misch CE. Divisions of available bone in implant dentistry. *Int J Oral Implantol* 1990; 7 : 9-17.
- Misch CE. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading. *Int J Oral Implantol* 1990; 6 : 23-31.
- Morris HE, Ochi S, Crum P, Orenstein I, Plezia R. Bone density: its influence on implant stability after uncovering. *J Oral Implantol* 2003; 29 : 263-9.
- Beer A, Gahleitner A, Holm A, Tschabitscher M, Homolka P. Correlation of insertion torques with bone mineral density from dental quantitative CT in the mandible. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14 : 616-20.
- Pouilles JM, Tremolieres F, Todorovsky N, Ribot C. Precision and sensitivity of dual-energy x-ray absorptiometry in spinal osteoporosis. *J Bone Miner Res* 1991; 6 : 997-1002.
- Rosenthal DI, Ganott MA, Wyshak G, Slovik DM, Doppelt SH, Neer RM. Quantitative computed tomography for spinal density measurement. Factors affecting precision. *Invest Radiol* 1985; 20 : 306-10.
- Benson BW, Prihoda TJ, Glass BJ. Variations in adult cortical bone mass as measured by a panoramic mandibular index. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991; 71 : 349-56.
- Klemetti E, Kolmakov S, Kroger H. Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scand J Dent Res* 1994; 102 : 68-72.
- Turkyilmaz I, Tozum TF, Tumer C, Ozbek EN. Assessment of correlation between computerized tomography values of the bone, and maximum torque and resonance frequency values at dental implant placement. *J Oral Rehabil* 2006; 33 : 881-8.
- Shapurian T, Damoulis PD, Reiser GM, Griffin TJ, Rand WM. Quantitative evaluation of bone density using the Hounsfield index. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21 : 290-7.
- Spruit M, Meijers H, Obradov M, Anderson PG. CT density measurement of bone graft within an intervertebral lumbar cage: increase of hounsfield units as an indicator for increasing bone mineral content. *J Spinal Disord Tech* 2004; 17 : 232-5.
- 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.
- 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.
- Arai Y, Tammisalo E, Iwai K. Development of ortho cubic super high resolution CT (Ortho-CT). In: Lemke HV, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, eds. *Car '98 Computer assisted radiology and surgery*. Amsterdam: Elsevier Science; 1998. p. 780-5.
- Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 245-8.
- Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. Accuracy in measurement of distance using limited cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19 : 228-31.
- Choi YS, Hwang EH, Lee SR. Clinical application of cone beam computed tomography in dental implant. *J Korean Dent Assoc* 2006; 44 : 172-9.
- 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 : 1558-6.
- Homolka P, Beer A, Birkfellner W, Nowotny R, Gahleitner A, Tschabitscher M, et al. Bone mineral density measurement with dental quantitative CT prior to dental implant placement in cadaver mandibles: pilot study. *Radiology* 2002; 224 : 247-52.
- Goldstein SA. The mechanical properties of trabecular bone: dependence on anatomic location and function. *J Biomech* 1987; 20 : 1055-61.
- Gibson LJ. The mechanical behaviour of cancellous bone. *J Biomech* 1985; 18 : 317-28.
- Kleerekoper M, Villanueva AR, Stanciu J, Rao DS, Parfitt AM. The role of three-dimensional trabecular microstructure in the pathogenesis of vertebral compression fractures. *Calcif Tissue Int* 1985; 37 : 594-7.
- Geraets WGM, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29 : 144-53.
- Trisi P, Rao W. Bone classification: clinical-histomorphometric comparison. *Clin Oral Implants Res* 1999; 10 : 1-7.
- Friberg B, Sennerby L, Roos J, Johansson P, Strid CG, Lekholm U. Evaluation of bone density using cutting resistance measurements and

Cone beam형 전산화단층영상에서 골의 형태와 밀도의 평가

- microradiography: an in vitro study in pig ribs. Clin Oral Implants Res 1995; 6 : 164-71.
27. 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.
28. 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.