

Cone beam형 전산화단층영상과 치근단방사선영상의 치근단 병소에 대한 정량적인 분석

원광대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, *치과대학 학부생, **한국과학기술원
김진화 · 이 완 · 김경수* · 노영채* · 김대석** · 이병도

Quantitative analysis of periapical lesions on cone beam computed tomograph and periapical radiograph

Jin-Hoa Kim, Wan Lee, Kyung-soo Kim*, Young-cha Roh*, Desok Kim**, Byung-Do Lee

Department of Oral & Maxillofacial Radiology, *Undergraduate Student, School of Dentistry, Wonkwang University,
**Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

ABSTRACT

Purpose : To detect the progression of experimentally induced periapical lesions on periapical radiograph and cone beam computed tomograph (CBCT) by quantitative analysis.

Materials and Methods : After the removal of coronal pulps from premolars of two Beagle dogs, the root canals of premolars were exposed to oral environment during one week and then sealed for 70 days. Digital periapical radiographs and CBCTs were taken at baseline and every 7 days for 77 days after pulp exposure. We examined occurrence and areas of periapical bone resorption. Three comparative groups of CBCT radiographs were prepared by average projection of thin slabs with different bucco-lingual thicknesses (0.1, 3.0, and 8.0 mm) using a 3D visualization software. Radiographic densities were compensated by image normalization. Digital images were processed with mathematical morphology operations. The radiographic density and morphological features of periapical lesions were compared among three groups of CBCT in different time points.

Results : In the CBCT group with 0.1 mm thickness, radiographic density ($p < 0.05$) and trabecular bone area ($p < 0.01$) were significantly decreased at the fifth week. However, in the CBCT groups with 3 mm and 8 mm thickness and periapical radiographs, none of densitometric and morphological features showed any significant differences in different time points. Radiographic density of periapical lesion showed increasing tendency at the eleventh week after pulp exposure.

Conclusion : Radiographic detection of periapical lesions was possible at the fifth week after pulp contamination by quantitative method and was affected by buccolingual bone thickness. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2009; 39 : 41-9)

KEY WORDS : Tomography, Computed; Periapical Lesion; Quantitative Image Analysis

서 론

치수가 세균에 감염 되면 치근단 골조직의 흡수가 진행이 되는데¹ 설치류(rodent)의 경우 왕성한 조직 염증반응이

7-21일 정도 진행된다.^{2,3} De Rossi 등⁴은 성견의 소구치 치수를 인위적으로 개방 오염시켜 치근단 병소를 유발시킨 후 치근단 방사선사진에서 병소가 관찰된 시기를 연구한 결과 약 30일 후에는 병소 검출이 가능하다고 보고한 바 있다.

치근단 병소가 진행이 되면 방사선사진투과도가 증가되며, 근관치료가 성공적으로 시행된 경우 방사선사진불투과도가 증가되어 보이는데, 방사선사진투과도는 임상과의 주관적인 판단에 따라 결정되기 쉽다.^{5,6} 또한 병소 위치와

접수일 (2009년 1월 2일), 수정일 (1차 : 2009년 1월 20일, 2차 : 2009년 2월 6일), 채택일 (2009년 2월 13일)

Correspondence to : Prof. Byung-Do Lee

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Wonkwang University, 344-2, Shinyong dong, Iksan city, Jeonbuk 570-711, Korea
Tel) 82-63-859-2912, Fax) 82-63-857-4002, E-mail) eebydo@wonkwang.ac.kr

크기의 다양성, 방사선 촬영 각도와 노출 시간, 필름 민감도 등도 치근단 병소 판독 제약 조건으로 거론된다.⁷⁻⁹ 치근단 병소를 객관적으로 평가하기 위하여 알루미늄 step wedge 등의 투과도계 (penetrometer) 부착¹⁰ 또는 digital radiography subtraction^{11,12} 등을 통한 방사선사진흑화도의 표준화를 위한 노력들이 시도되고 있다. 하지만, step wedge 부착을 통한 phantom study의 경우 필름 교환면쪽에 step wedge를 부착시키기 때문에 치근단 영역이 관찰되지 않고 환자가 불편감을 호소할 수 있다. 또한 subtraction법의 경우 시간대 별로 정확한 촬영 위치 및 각도를 재현하기 위한 개인 맞춤촬영 장치가 필요하기 때문에 임상적인 이용에는 제약이 따른다.

치근을 둘러싸고 있는 치조골은 협설측 피질골과 해면골로 구성되어 있으며 염증 병변이 해면골에서 시작되어 피질골 일부를 파괴시켜야 치근단 방사선 사진에서 방사선사진투과상이 판독되고,⁷ 골조직에 인위적으로 형성된 병소는 협측이나 설측 피질골에 도달될 때까지는 일반 방사선사진상에서 확인하기가 어렵다고 보고되었다.¹³⁻¹⁵ 그러나 Marmary 등¹⁶은 전산화단층영상 (computed tomography, CT)과 치근단 영상을 비교한 연구 결과 치근단 병소가 해면골에 국한되어 있어도 치근단 방사선사진에서 병소 판독이 가능하다는 상반된 연구 결과를 보고하였으며, 이에 따라 치근단 병소의 피질골의 침범 여부에 따른 일반 방사선사진상의 병소 검출능에 대한 연구는 보다 진행되어야 할 것으로 여겨진다.

최근에는 치과임상에 콘빔 (cone beam) 방식의 치과용 전산화단층촬영기 (CBCT)가 도입됨으로써 치조골을 3차원적으로 관찰할 수 있음은 물론 절단면상 취득이 가능하기 때문에, 골내 염증 병소의 확장 정도를 비교적 정확히 평가할 수 있고 피질골 이환 여부를 알 수 있다.^{17,18} 또한 특정 삼차원 영상 재구성 프로그램을 이용하면 횡단면상에서 협설측 방향으로의 임의의 두께 설정이 가능하고, 설정된 두께에 따른 시상면상을 얻을 수 있으므로, 협설측 단면두께에 따른 CBCT 시상면상과 치근단 방사선사진상의 병소 검출능 비교가 가능하리라고 생각한다.

근래에 디지털 영상 사용이 보편화 되어가고 있으며 디지털 치근단 영상의 판독능이 필름영상과 비교시 별 차이가 없으나,^{19,20} 디지털 영상 처리 (image processing)시에는 판독능이 개선된다는 보고들이 있다.^{21,22} 특히 Wenzel²¹과 Farman 등²³은 다양한 노출조건에 의한 방사선사진흑화도 상이성의 보정을 위해 histogram equalization 기법을 이용하여 연구를 진행한 바 있다. 그러나 병변의 진행과정을 효과적으로 평가하기 위해서는 보다 특성화된 영상처리법이 필요할 것으로 생각되었으며, histogram normalization 기법을 이용한 정량적 골분석법이 방사선사진흑화도를 객관적으로 평가하는데 효과적임을 본 연구의 예비연구 결과에서 알 수 있었다.

본 연구는 실험동물 치아에 인위적으로 치근단 병소를 유발시킨 후, 연속적으로 촬영된 치근단 병소의 방사선사진들을 대상으로, 치근단 방사선사진과 CBCT상의 검출능을 비교하고, 악골의 협설 두께에 따른 방사선사진상의 치근단 변화상을 정량적 골분석법을 이용하여 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 연령 2세의 체중 14kg의 성숙한 비글 수컷 2마리가 이용되었다

동물을 입수하여 순화시킨 후 일반증상과 심장사상충 및 분변검사를 실시하여 건강한 동물만을 시험에 제공하였다. 실험동물 순화 후 시술 1주일 전에 스킨링을 실시하였다.

각 실험동물의 소구치 7개 (1번개의 4개와 2번개의 3개)의 치근 12개 (1번개 우측하악 소구치근 2개, 1번개 좌측하악 소구치근 5개, 2번개 좌측하악 소구치근 5개)를 본 실험에 이용하였다.

2. 치수 개방 (pulp opening)

실험동물을 8시간 절식시킨 후 Atropine Sulfate (0.03 mg/kg)를 피하 주사하여 마취를 유도하고, 케타민 50주 (Ketamine 50 mg, 유한양행, 한국)와 렘폰 (Xylazine hydro-chloride 23 mg, 바이엘코리아, 한국)을 1:1로 혼합하여 0.2 mL/kg 정맥주사하였다. 마취시킨 후 치과용 round bur (직경 6 mm)를 이용하여 치수를 노출시켰고 (Fig. 1) 치근단과 CBCT 촬영을 각각 시행하였다. 일주일 후 노출된 치수 부위는 치수피복을 시행하여 더 이상의 감염을 방지하도록 하였다.



Fig. 1. Experimental pulp opening and removal of coronal pulp of a Beagle dog's premolar.

3. 치근단 및 CBCT 촬영

치근단 방사선 촬영은 CCD sensor (RVG, Kodak Co., France)와 구내 방사선촬영기 (KODAK 2200 Intraoral X-ray

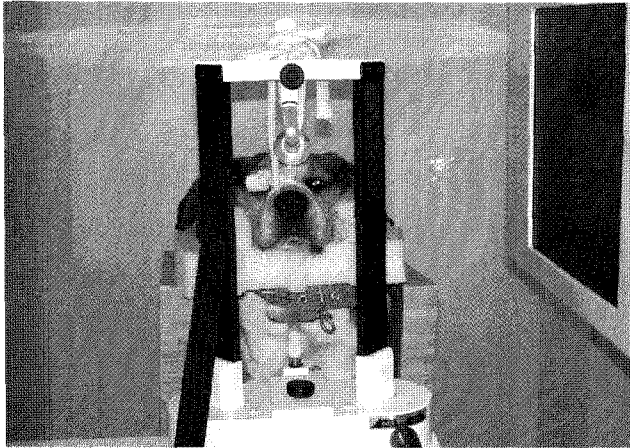


Fig. 2. Cone beam CT taking of a Beagle dog.

System)를 이용하여 디지털화된 영상을 얻었으며 CBCT (3D X-ray CT scanner, Alphard vega, Asahi Co., Japan)의 D-mode (scan size 51 × 51 mm, voxel size 0.1 mm) 영상을 치수 노출 직후부터 11주 동안 매주 채득하였다(Fig. 2). 또한 특정 삼차원 영상 생성 프로그램 (Ondemand 3D[®] program, Cybermed Co., Seoul, Korea)을 이용하여 CBCT 횡단면상에서 협설측 피질골을 확인한 후 관심영역 단면 (단면두께 0.1 mm, interesting plane)과, 해면질에 국한된 부위 (단면두께 3 mm), 협설측 피질골이 동시에 포함된 부위 (단면두께 8 mm)를 각각 설정하여 (average projection of thin slabs) 시상면상을 각각 구성하였다(Fig. 3).

4. Histogram normalization에 의한 영상 보정 및 방사선사진흑화도와 골구조 특성치의 분석

1) Normalization에 의한 방사선사진흑화도 보정

본 연구에서는 분석 대상인 영상들의 흑화도를 일정하게 유지하기 위해서 영상 normalization 기법을 사용하였다. 골 대사(bone metabolism) 과정과 무관하여 각기 다른 시점에

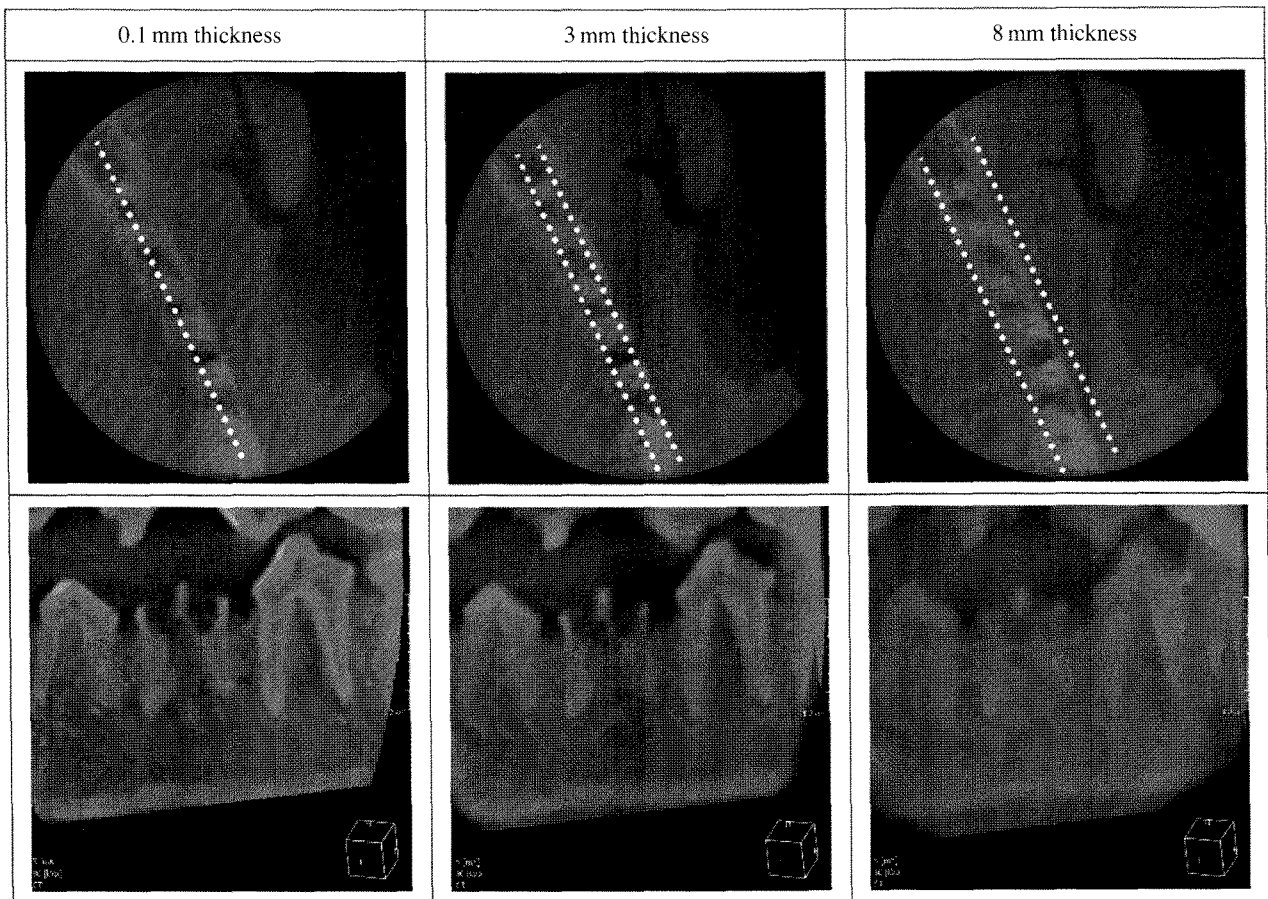


Fig. 3. Three sets of sagittal views were produced according to the bucco-lingual thickness on the axial view, that is a plane of interest (thickness 0.1 mm, buccolingual orientation), a set of planes confined to the cancellous bone (thickness 3 mm) and a set of planes that include the cortex (thickness 8 mm). This procedure was done by using a thin slab thickness average projection of 3D visualization software.

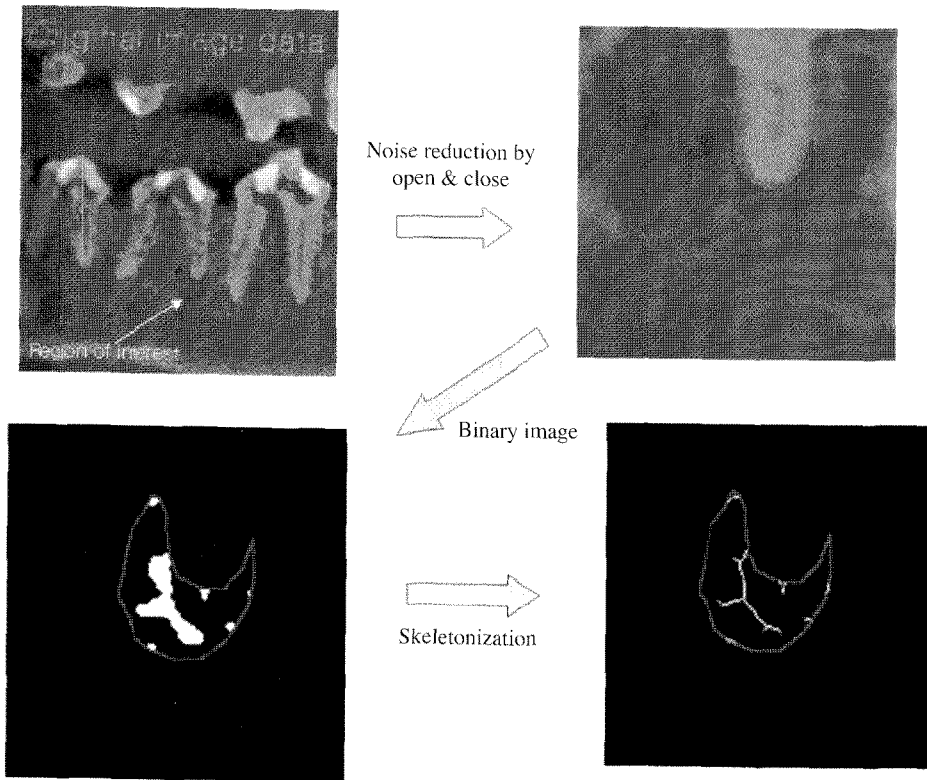


Fig. 4. Diagram representing a flow of morphologic operations available in ADOIC program.

촬영한 영상에서도 영상 밝기가 일정할 것으로 예상되는 두 지점인 영상의 배경(background)과 치아 상아질 영상의 modal intensity를 기준으로 밝기 히스토그램을 변형하였다. 그 결과 분석 대상인 모든 영상들의 방사선사진확화도가 거의 동일하도록 변형되었다. 그 후 치근단 병소에 관심영역(region of interest, ROI)을 지정하여 시간 경과에 따른 관심영역 변화상을 정량적으로 비교 분석하였다.

본 연구에서 사용한 영상 normalization²⁴에 사용된 공식은 아래와 같다.

$$I_{new}(x, y) = [I_{cur}(x, y) - B(x, y)] \times ratio + M_{global_background}$$

$$\text{where ratio} = \frac{M_{global_dentin} - M_{global_background}}{M_{local_dentin} - M_{local_background}}$$

I_{new} 는 보정 후 영상, I_{cur} 는 보정 전 영상, 그리고 B 는 배경(background)을 나타낸다. M_{local_dentin} 은 상아질 영상 히스토그램에서 가장 밝은 값을 나타내고 $M_{local_background}$ 은 치아와 골소주 영상을 제외한 배경 영상 중 가장 밝은 값을 나타낸다. M_{global_dentin} 은 전체 상아질 영상의 평균 밝기 값을, $M_{global_background}$ 는 전체 배경 영상의 평균 밝기 값을 각각 의미한다.

2) 방사선사진확화도와 골구조 특성치의 비교 분석

Normalization 과정을 통해 방사선사진확화도 보정이 이루어진 영상들을 대상으로, 생체영상분석 프로그램(Ad Oculus Imaging Classes)²⁴을 치근단 병변의 방사선사진확

화도 및 골구조 특성치를 평가하기 위한 목적으로 개발하였으며, 이 Program이 제공하는 Mathematical Morphology 연산이 수행되었다. 침식(erosion), 팽창(dilation) 연산을 통해 노이즈를 제거하였고 Tophat 연산과 Threshold 연산을 통해 골소주 영상을 분할하였다. 그리고 Closing과 Opening 연산을 통해 복잡한 골소주 분할 영상을 단순하게 만들었으며 이진화된 상과 이진화된 상의 central axis만이 남는 골격화된 상(skeleton image)을 얻도록 하였다(Fig. 4).

본 연구에서는 방사선사진확화도와 관련된 요소(Intensity feature)인 관심 영역(ROI)의 평균 밝기 값(Average intensity of ROI), 골소주의 평균 밝기 값(Average intensity of trabecular bone in ROI), 그리고 골수강의 평균 밝기 값(Average intensity of bone marrow in ROI)을 계산하였다. 골 형태 지표(morphometry feature)로는 관심영역 면적당 골소주의 면적(Trabecular bone area per ROI)과 골수강의 면적(Bone Marrow area per ROI), 골소주의 두께(Trabecular bone thickness) 등이 계산되었으며, 골소주 연결성을 특징짓는 골격(skeleton) 길이, 분기점(branching points)과 종점(terminal points) 등과 관계된 골격지표(skeleton features)값인 골소주 골격선의 종점 개수, 골소주 면적 당 골소주 골격선의 종점 개수, 관심영역 면적 당 골소주 골격선의 분기점 개수, 골소주 면적 당 골소주 골격선의 분기점 개수, 관심영역 면적당 골소주 골격선의 길이, 골소주 면적 당 골소주 골격선의 길이, 골소주 골격선의 종점과 분기점 개수의 비율, 관심영역 면적당 골수강 골격선의 종점 개수, 골수강

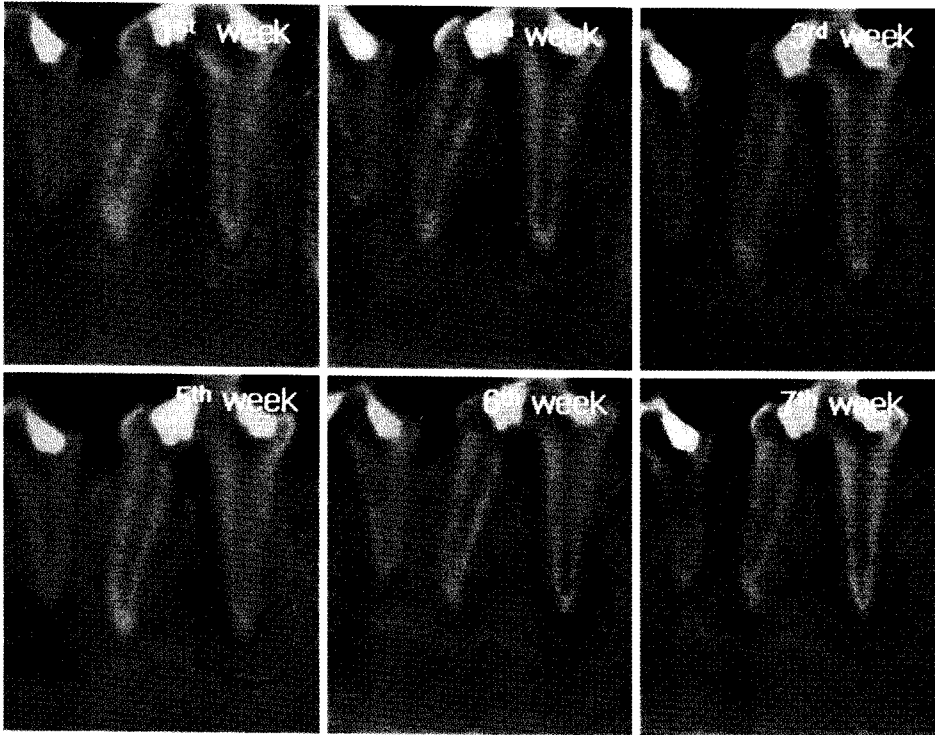


Fig. 5. An 0.1 mm-thickness CBCT images of beagle's mandibular premolar. Consecutive skeletonized images of the periapical lesion were observed according to time sequences. Radiographic densities of each images were compensated by normalization.

면적당 골수강 골격선의 종점 개수, 관심영역 면적당 골수강 골격선의 분기점 개수, 골수강 면적당 골수강 골격선의 분기점 개수, 관심영역 면적당 골수강의 골격선 길이, 골수강 면적당 골수강의 골격선 길이, 골수강 골격선의 종점과 분기점 개수등 총 20개의 밝기 및 골구조 형태지표들(bone morphometric parameters)이 치근단 질환의 시간 경과에 따른 분석 지표로 이용되었다.

5. 통계학적 분석

CBCT단면 두께군(0.1 mm, 3 mm, 8 mm)과 치근단방사선 사진군에 따른 방사선사진흑화도와 골형태학적지표치(MO values)들의 시간 변화에 따른 변화양상들은 반복측정분산 분석법에 의해 통계학적으로 비교 분석되었다.

6. 육안 관찰에 의한 치근단 병변 검출

치수 개방후 치근단 질환이 생성되는 과정을 치과의사 3인이 방사선사진상의 치근단 병소를 육안으로 관찰하면서 치근단 병소가 처음 인지되는 시기와 병변의 크기변화를 서로 협의하면서 결정하였고, 정량적으로 분석되는 자료들과 비교하였다.

결 과

분석하고자 하는 모든 영상들은 영상 보정되었고 특정 프로그램인 ADOIC에 의해 골격화된 상이 출력되었다(Fig.

5). 치근단 병소의 치근단 방사선 영상 및 CBCT 두께군의 영상들을 서로 비교 분석한 결과 CBCT 0.1 mm 두께 군에서, baseline과 비교하여 5주째부터 방사선사진흑화도($p < 0.05$)와 골 형태학적 지표들 중 골소주 면적(trabecular area) ($p < 0.01$)이 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(Figs. 5, 6). 치수 오염후 치근단 병소의 방사선사진불투과도(radiopacity)는 11주째까지 감소하는 양상을 보였다(방사선사진 흑화도는 증가)(Fig. 6, 0.1 mm CBCT). 그러나 CBCT 3 mm 와 8 mm 두께군 그리고 치근단 방사선 영상군에서는 방사선사진흑화도와 골형태학적인 지표들의 시간경과에 따른 변화 양상이 산재된 형태를 보였다(Fig. 6).

영상들을 육안으로 관찰시 치근단 방사선 사진에서는 병소 유발후 약 4-5주경에 치근단 병소가 처음으로 관찰되는 것에 비해, 전산화단층법을 이용한 단면상에서는 약 3-4주경부터 병소 검출이 가능하였다(Fig. 7).

고 찰

본 연구에서 실험동물로는 비글견을 이용하였는데 그 이유로는 악골의 크기가 치근단 병소를 관찰하기에 알맞고, 성견의 소구치는 하악에는 3개, 상악에는 2개 총 10개가 있어서 실험용으로 알맞다.^{9,25,26}

치수가 오염되면 피사된 치수 내에 그램 음성균이 존재하고 내독소(endotoxin)가 생성되는 경우 치근단 병소가 유발된다.²⁷⁻²⁹ 치근단 염증을 인위적으로 유발시키기 위해 치수를 오염시키는 기간이 학자에 따라 다양하게 이용되

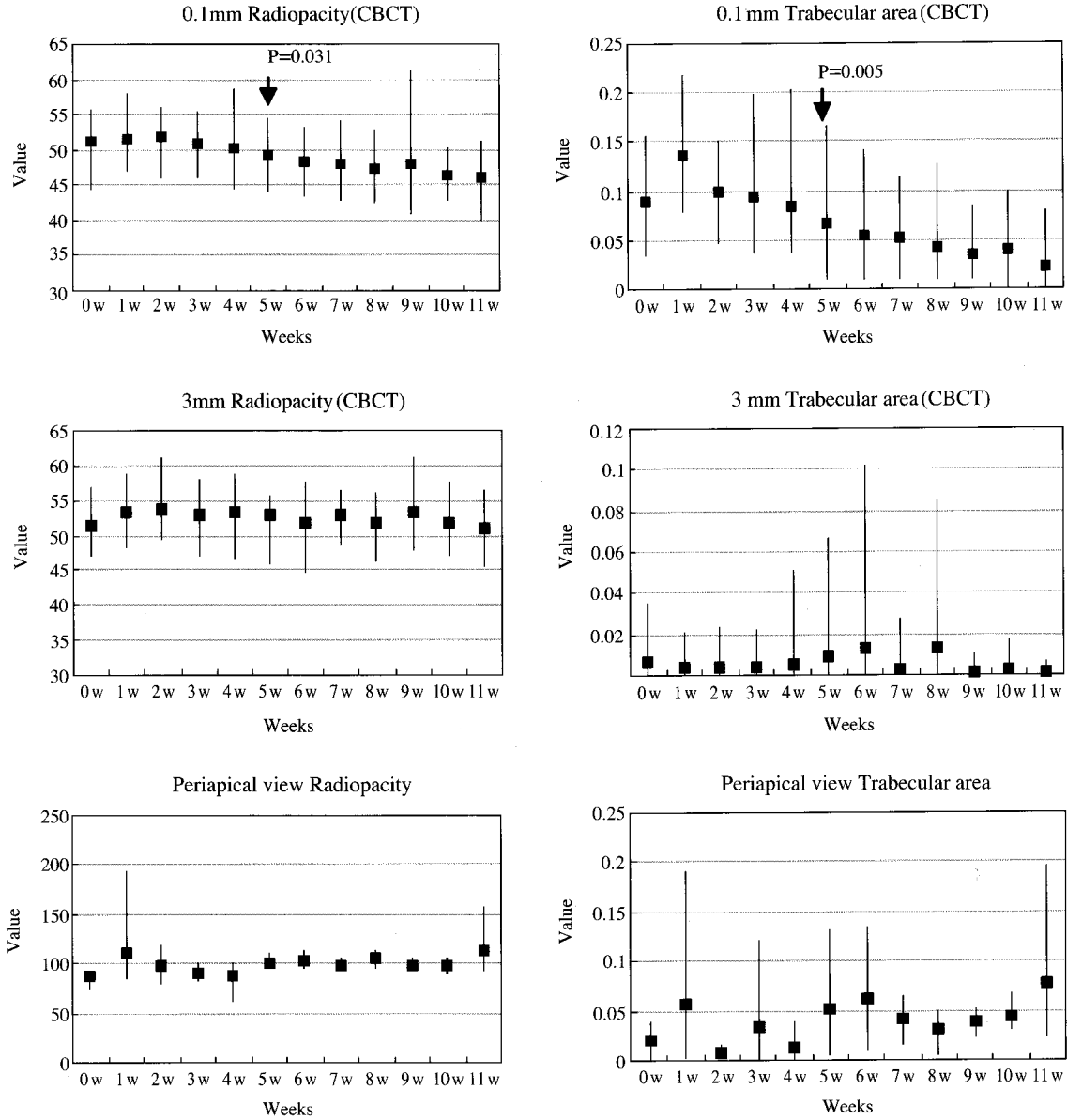


Fig. 6. Quantitative analysis of radiographic densities and bony structures according to the time sequences.

치수를 오염시키는 기간이 학자에 따라 다양하게 이용되었는데,³⁰⁻³³ Leonardo 등³⁰은 성견 치수강을 7일 동안 외부에 노출 오염시킨 후 45-60일 동안 치근단 병소 변화상을 관찰한 바 있다. 치수 오염 후 치수강을 피복시키면 그렇지 않은 경우에 비해 혐기성 세균(anaerobic gram negative micro-organism)이 증가하여 치근단 병소가 커져 보이며, 병소가 빨리 발현되는 경향이 있는 것으로 알려져 있다.³² 본 연구에서도 치수 노출 1주일 후 치수피복을 시행하여 더 이상의 감염을 방지하도록 하였고 일주일 간격으로 77일 동안 치근단 병소 변화상을 관찰하였다.

본 연구의 영상을 시각적으로 평가시 치근단 영상에서는 치근단 병소 인지가 4-5주째 가능하였으나 CBCT 영상

에서는 3-4주째 가능하였다. 그리고 정량적인 방법으로 방사선사진흡화도를 분석한 결과는 CBCT 협설측 두께 0.1mm에서는 5주만에 병소 관찰이 가능하였다. 반면에 3mm와 8mm 두께 군에서는 방사선사진흡화도와 골 형태학적인 지표들의 변화양상이 시간 경과에 따라 산재된 형태를 보였으며 치근단방사선 영상군도 시간경과에 따라 산재된 양상을 보였다.

이는 치근단 병소에 대한 방사선학적 검사에서 치근단 촬영법에 비해 CBCT 영상의 민감도가 더욱 높다는 것을 보여주는 것인데 관심영역의 협설측 두께 등이 중요한 요소임을 알 수 있었다.

Jorge 등³⁴은 인위적으로 유발된 성견 치근단 질환을 방

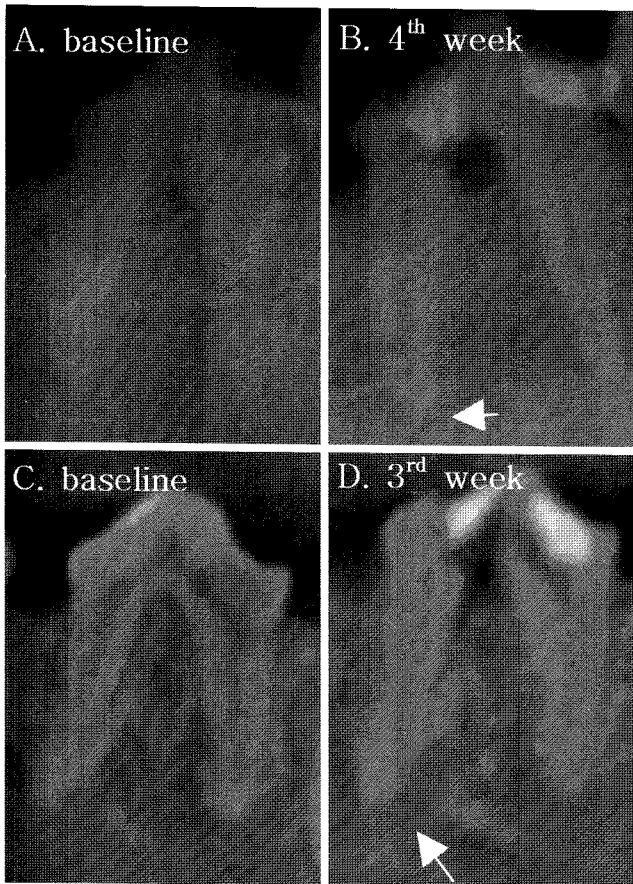


Fig. 7. Periapical lesions were detected at 4-5 weeks on periapical radiographs (A, B) and 3-4 weeks on CBCT (C, D) by visual inspection.

는 치근단 병소가 약 15일경에 관찰되는 것에 비해, 전산화단층촬영법을 이용한 단면상에서는 약 1주일부터도 병소 검출이 가능하다고 하였다.

이는 본 연구의 치근단방사선사진상의 4-5주째 병변 인지, CBCT 영상상의 3-4주째 인지와 차이를 보이는 것이며, 이는 영상 해상도 차이와 판독자의 주관적인 결정이 크게 작용하고 있는 것으로 보인다. 본 연구의 CBCT 영상들 중에서도 치수 노출 1주일의 영상에서 병소로 의심되는 영상들이 있었으나 병소 인지가 확실한 영상들만 연구 결과로 채택 하였으며, 앞으로 이에 대해서는 더 많은 대상 자료의 채득과 분석, 영상처리 등을 이용한 판독조건 개선 등이 수반되면 또 다른 연구 결과가 생성될 수 있으리라고 생각한다.

각 영상들의 흑화도를 normalization기법을 이용하여 보정한 후, 치근단 병소가 유발되기 이전인 (baseline) 정상 치근단 조직 방사선사진흑화도와, 형성중인 병소의 방사선사진흑화도의 차이가 정량적으로 확인되는 시기를 정기적 (longitudinal)으로 추적한 결과, 약 5주만에 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 비록 시각적 판단에 의한 약 3-4주만

의 병소 검출능과 약간의 차이가 있는 결과이지만, 방사선 사진흑화도 변화를 자동적으로 인지하는 프로그램 개발에 이용될 수 있는 연구 결과라고 생각한다.

본 연구에 사용된 치근단 영상은 CCD를 이용한 디지털 영상이었으며, 각 영상들간의 방사선사진흑화도를 통일하기 위해 normalization기법을 사용하였다. 디지털 영상을 특정 영상처리하면 판독능이 개선된다는 보고들이 있는데, Wenzel²¹은 방사선사진흑화도가 높지 않은 영상의 경우 histogram equalization을 사용하면 효과적이라고 하였으며, Kullendorff와 Nilsson²²은 방사선사진흑화도 조정이 좋은 영상을 만든다고 보고하였다. Farman 등²³은 치근단 병소의 디지털 영상을 강조시킨 경우 병소의 경계부위가 잘 보이고, 관찰자 간과 관찰자 내의 일치도가 우수하다고 하였으며²³ histogram equalization이 노출조건 상이성에 의한 방사선사진흑화도 보정을 위해 이용된 연구²³도 보고되었다.

그러나 이러한 영상 처리 방법^{23,35}으로는 골소주 변화양상을 비교 분석하기 위해 반드시 측정해야 하는 골소주 조직의 평균 밝기를 각 영상에서 일정하게 제공하지는 못한다. 즉 각 영상 내에 다양하게 존재하는 구조물, 예를 들어 보철물, 법랑질이나 상아질 등의 치아 경조직, 골소주 등 다양한 방사선사진 흑화도를 나타내는 구조물이 동시에 존재하므로 일률적으로 히스토그램 stretching을 하는 것은 여러 가지 문제점을 야기할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 영상의 배경 (background image)과 치아 상아질 영상의 modal intensity를 기준으로 밝기 히스토그램을 변형하였으며, 그 결과 분석하고자 하는 모든 영상의 흑화도를 거의 동일하게 변형시킬 수 있었다. 그 후, 치근단 병소 조직에 관심영역을 지정하여 컴퓨터 영상분석에 의한 치근단 병변 진행과정의 정량적 비교 분석을 수행하였다.

Foracchia 등³⁶은 망막영상의 발광도 (luminosity)와 대조도 변화를 normalization을 통한 영상보정을 통해, 영상 채득과정에서 발생한 불균등한 발광도와 대조도의 다양성 (contrast variability) 등을 해소하는데 효과적이라고 보고한 바 있으며, 악골 병소에 대한 normalization 영상기법 사용은 거의 시도 되지 않았으므로, 앞으로 이 방법을 이용한 방사선사진흑화도 보정에 대한 연구는 의의가 있을 것으로 기대된다.

Normalization기법 이외에 mathematical morphologic operation법 (MO)을 이용한 골구조 분석법³⁷ 등이 골질환의 평가의 정량적 분석법으로서 이용되고 있으며 본 연구에서는 MO기법을 이용한 골소주 분석에서 골소주 면적이 병소 진행 경과에 따라 감소되는 양상을 보였으나 그 외 지표들은 유의한 결과를 보이지 못하였다.

골구조의 이차원적 영상 분석을 시행하는 이유는 골구조에 대한 비침습적인 연구를 보장할 수 있고³⁸ 3차원적 골 분석방법에 비해 간단하게 응용할 수 있기 때문이다. Mellish 등³⁹은 골강도와 관련해서는 node의 수가 가장 중

요한 지표이며 node가 많으면 골은 더욱 잘 연결된다고 하였다. 골미세구조 이차원적 분석에 이용되는 지표들은 연결성(connectivity)과 관련된 것이며 학자들에 따라서는 골미세구조의 특징을 규정짓는 세 가지 요소로 연결성, 골부피(volume fraction), 방향성(anisotropy) 등을 거론한 바 있다.⁴⁰ 이러한 연구보고 등을 종합하여 보면 2차원적 골구조 분석은 골대사과정 혹은 치유과정에 따른 골변화를 기록할 수 있는 가능성이 있는 방법으로서 이에 대한 연구가 더욱 진행되어야 한다고 생각한다.

본 연구에서 이용된 골조직의 정량적 분석 방법은 관심영역의 설정 상태에 따라서 방사선사진흑화도 및 골구조 지표들의 값이 달라질 수 있으므로 관찰자 내의 일치도 및 관찰자 간의 일치도가 높은 것이 바람직하다.

Nicopoulou-Karayianni 등⁶은 영상처리가 된 디지털 방사선 영상의 관찰자 내 및 관찰자 간 일치도가 높다고 주장한 바 있으며 본 연구의 골 분석 프로그램의 관심영역 설정 재현성에 대해서는 앞으로 실험 보강을 통하여 측정 재현성을 높이는 과정이 필요하리라고 사료된다.

본 연구에서는 normalization을 이용하여 각 영상들의 흑화도를 보정하여, 병소 진행상태를 분석하였는데, 11주째 까지 병소 크기가 커지는 상태를 확인할 수 있었다. 또한 협설측의 피질골이 중첩됨으로 해면질골에 존재하는 병소가, 치근단 방사선영상에서는 관찰되지 않고, 단면상을 제공하는 CBCT 영상, 그 중에서도 얇은 두께의 단면상에서 병소를 발견하기 용이하다는 점을 알 수 있었다. 치근단 방사선영상, CBCT 영상의 치근단 병소에 대한 정확도, 즉 민감도나 특이도 등을 연구하고자 한다면, 병변이 왕성하게 조직반응을 일으키고 있는 7-21일 사이에 조직소견을 되도록 많이 확보하여 gold standard로 삼고, 각 촬영법에 대한 정확도 계산을 하는 것이 효율적이라고 생각하며 또한 CBCT의 경우에는 영상 noise 제거 등을 통한 판독능 개선효과가 선행되면, 보다 좋은 영상 연구들이 가능하리라고 사료된다.

본 연구 결과 치근단 병변의 정량적 분석이 치근단 영상보다는 CBCT 단면상에서 효율적이었으며 협설측 골 두께 변화에 의해서 영향을 받고 있는 점을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Bergenholtz G. Pathogenic mechanisms in pulpal disease. *J Endod* 1990; 16 : 98-101.
2. Yu SM, Stashenko P. Identification of inflammatory cells in developing rat periapical lesions. *J Endod* 1987; 13 : 535-40.
3. Stashenko P, Yu SM, Wang CY. Kinetics of immune cell and bone resorptive responses to endodontic infections. *J Endod* 1992; 18 : 422-6.
4. De Rossi A, De Rossi M, Rocha LB, da Silva LA, Rossi MA. Morphometric analysis of experimentally induced periapical lesions: radiographic vs histopathological findings. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36 : 211-7.

5. White SC, Gratt BM. Clinical trials of intraoral dental xeroradiography. *J Am Dent Assoc* 1979; 99 : 810-6.
6. Nicopoulou-Karayianni K, Bragger U, Patrikiou A, Stassinakis A, Lang NP. Image processing for enhanced observer agreement in the evaluation of periapical bone changes. *Int Endod J* 2002; 35 : 615-22.
7. Bender IB. Factors influencing the radiographic appearance of bony lesions. *J Endod* 1982; 8 : 161-70.
8. Andreasen FM, Sewerin I, Mandel U, Andreasen JO. Radiographic assessment of simulated root resorption cavities. *Endod Dent Traumatol* 1987; 3 : 21-7.
9. Delano EO, Tyndall D, Ludlow JB, Trope M, Lost C. Quantitative radiographic follow-up of apical surgery: a radiometric and histologic correlation. *J Endod* 1998; 24 : 420-6.
10. Trouerbach WT, Steen WH, Zwamborn AW, Schouten HJ. A study of the radiographic aluminum equivalent values of the mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984; 58 : 610-6.
11. Pascon EA, Introcaso JH, Langeland K. Development of predictable periapical lesion monitored by subtraction radiography. *Endod Dent Traumatol* 1987; 3 : 192-208.
12. Kullendorff B, Grondahl K, Rohlin M, Henrikson CO. Subtraction radiography for the diagnosis of periapical bone lesions. *Endod Dent Traumatol* 1988; 4 : 253-9.
13. Schwartz SF, Foster JK, Jr. Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32 : 606-12.
14. van der Stelt PF. Experimentally produced bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 59 : 306-12.
15. Bianchi SD, Rocuzzo M, Cappello N, Libero A, Rendine S. Radiological visibility of small artificial periapical bone lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20 : 35-9.
16. Marmary Y, Koter T, Heling I. The effect of periapical rarefying osteitis on cortical and cancellous bone. A study comparing conventional radiographs with computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 267-71.
17. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Grondahl K, Grondahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103 : 114-9.
18. Hwang HJ, Kim GT, Choi YS, Hwang EH. Mandibular condyle position in cone beam computed tomography. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2006; 35 : 103-9.
19. Yokota ET, Miles DA, Newton CW, Brown CE, Jr. Interpretation of periapical lesions using RadioVisioGraphy. *J Endod* 1994; 20 : 490-4.
20. Kullendorff B, Nilsson M, Rohlin M. Diagnostic accuracy of direct digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions: overall comparison between conventional and direct digital radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 82 : 344-50.
21. Wenzel A. Effect of image enhancement for detectability of bone lesions in digitized intraoral radiographs. *Scand J Dent Res* 1988; 96 : 149-60.
22. Kullendorff B, Nilsson M. Diagnostic accuracy of direct digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions. II. Effects on diagnostic accuracy after application of image processing. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 82 : 585-9.
23. Farman AG, Avant SL, Scarfe WC, Farman TT, Green DB. In vivo comparison of Visualix-2 and Ektaspeed Plus in the assessment of periradicular lesion dimensions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 85 : 203-9.

24. Kim D, Chae YS, Kim SJ. High Content Cellular Analysis for Functional Screening of Novel Cell Cycle Related Genes, 2008 International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, 2008. p.148-52.
25. Grecca FS, Leonardo MR, da Silva LA, Tanomaru Filho M, Borges MA. Radiographic evaluation of periradicular repair after endodontic treatment of dog's teeth with induced periradicular periodontitis. *J Endod* 2001; 27 : 610-2.
26. De Rossi A, Silva LA, Leonardo MR, Rocha LB, Rossi MA. Effect of rotary or manual instrumentation, with or without a calcium hydroxide/1% chlorhexidine intracanal dressing, on the healing of experimentally induced chronic periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 99 : 628-36.
27. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The Effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 20 : 340-9.
28. Horiba N, Maekawa Y, Yamauchi Y, Ito M, Matsumoto T, Nakamura H. Complement activation by lipopolysaccharides purified from gram-negative bacteria isolated from infected root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992; 74 : 648-51.
29. Yamasaki M, Nakane A, Kumazawa M, Hashioka K, Horiba N, Nakamura H. Endotoxin and gram-negative bacteria in the rat periapical lesions. *J Endod* 1992; 18 : 501-4.
30. Leonardo MR, Almeida WA, Ito IY, da Silva LA. Radiographic and microbiologic evaluation of posttreatment apical and periapical repair of root canals of dogs' teeth with experimentally induced chronic lesion. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994; 78 : 232-8.
31. Tanomaru Filho M, Leonardo MR, da Silva LA. Effect of irrigating solution and calcium hydroxide root canal dressing on the repair of apical and periapical tissues of teeth with periapical lesion. *J Endod* 2002; 28 : 295-9.
32. Jansson L, Ehnevid H, Lindskog S, Blomlof L. Development of periapical lesions. *Swed Dent J* 1993; 17 : 85-93.
33. Holland R, Otoboni Filho JA, de Souza V, Nery MJ, Bernabe PF, Dezan E, Jr. A comparison of one versus two appointment endodontic therapy in dogs' teeth with apical periodontitis. *J Endod* 2003; 29 : 121-4.
34. Jorge EG, Tanomaru-Filho M, Goncalves M, Tanomaru JM. Detection of periapical lesion development by conventional radiography or computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106 : e56-61.
35. Sund T, Moystad A. Sliding window adaptive histogram equalization of intraoral radiographs: effect on image quality. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 133-8.
36. Foracchia M, Grisan E, Ruggeri A. Luminosity and contrast normalization in retinal images. *Med Image Anal* 2005; 9 : 179-90.
37. Kumasaka S, Kashima I. Initial investigation of mathematical morphology for the digital extraction of the skeletal characteristics of trabecular bone. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 161-8.
38. Muller R, Hahn M, Vogel M, Dellling G, Ruegsegger P. Morphometric analysis of noninvasively assessed bone biopsies: comparison of high-resolution computed tomography and histologic sections. *Bone* 1996; 18 : 215-20.
39. Mellish RW, Ferguson-Pell MW, Cochran GV, Lindsay R, Dempster DW. A new manual method for assessing two-dimensional cancellous bone structure: comparison between iliac crest and lumbar vertebra. *J Bone Miner Res* 1991; 6 : 689-96.
40. Hans D, Arlot ME, Schott AM, Roux JP, Kotzki PO, Meunier PJ. Do ultrasound measurements on the os calcis reflect more the bone microarchitecture than the bone mass?: a two-dimensional histomorphometric study. *Bone* 1995; 16 : 295-300.