

골결손부 치유과정에서 cone beam형 전산화단층영상의 정확도

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

The accuracy of the imaging reformation of cone beam computed tomography for the assessment of bone defect healing

Ho-duk Kang, 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 evaluate the accuracy of the imaging reformation of cone beam computed tomography for the assessment of bone defect healing in rat model.

Materials and Methods : Sprague-Dawley strain rats weighing about 350 gms were selected. Then critical size bone defects were done at parietal bone with implantation of collagen sponge. The rats were divided into seven groups of 3 days, 1 week, 2 weeks, 3 weeks, 4 weeks, 6 weeks, and 8 weeks. The healing of surgical defect was assessed by multiplanar reconstruction (MPR) images and three-dimensional (3-D) images of cone beam computed tomography, compared with soft X-ray radiograph and histopathologic examination.

Results : MPR images and 3-D images showed similar reformation of the healing amount at 3 days, 1 week, 2 weeks, and 8 weeks, however, lower reformation at 3 weeks, 4 weeks, and 6 weeks. According to imaging-based methodologies, MPR image revealed similar reformation of the healing amount than 3-D images compare with soft X-ray image. Among the four threshold values for 3-D images, 400-500 HU revealed similar reformation of the healing amount. Histopathologic examination confirmed the newly formed trabeculation correspond with imaging-based methodologies.

Conclusion : MPR images revealed higher accuracy of the imaging reformation of cone beam computed tomography and cone beam computed tomography is a clinically useful diagnostic tool for the assessment of bone defect healing. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 69-77)

KEY WORDS : Tomography, Cone Beam Computed; Bone Defect Healing; Parietal Bone

서 론

악안면부에 발생한 골절, 감염, 낭이나 종양 등에 대한 외과적 치료 후 적절한 예후 판정을 위해서는 이들 질환의 정확한 진단과 더불어 치료에 따른 골결손부 치유과정 에 대한 적절한 추적검사가 요구되는데, 골결손부 치유과정의 평가시에는 잔존 골결손부의 범위, 신생골이나 가골의 형성 여부, 이차 감염에 따른 골소실 여부 등에 대한 최적화된 영상의학적 재현이 매우 중요하다.¹⁻³ 그러나 일반 방사선사진에서는 해부학적 구조의 중첩, 방사선사진

상의 확대와 왜곡 등이 발생되며, 이로 인해 골결손부 치유과정의 정확한 평가가 불가능하다.⁴⁻⁶ 따라서 해부학적 구조가 복잡한 악안면부 골결손부 치유과정의 정확한 평가를 위해서는 전산화단층촬영을 통한 다면재구성영상과 삼차원재구성영상이 필요하다.⁷⁻⁹

일반적으로 다면재구성영상과 삼차원재구성영상은 나선형 전산화단층촬영이나 다면나선형 전산화단층촬영 등을 통해 얻게 되는데, 다면재구성영상과 삼차원재구성영상의 재현 정도는 관찰하고자 하는 해부학적 구조의 위치, 주사 방향에 따른 획득 단면영상의 방향, 획득 단면영상의 두께 등에 의해 영향을 받으며, 일반 방사선촬영에 비해 방사선 조사선량이 상대적으로 많다.⁹⁻¹¹ 이에 최근에는 골에 대한 영상의학적 가치를 유지하면서도 방사선조사선량이 상대적으로 적은 cone beam형 전산화단층촬영장치 (cone beam

접수일 : 2007년 3월 23일; 심사일 : 2007년 3월 24일; 채택일 : 2007년 5월 7일
Correspondence to : 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) 82-2-958-9408, Fax) 82-2-965-1256, E-mail) omrcys@khu.ac.kr

computed tomography: CBCT)가 개발되었으며, 악안면영역의 새로운 영상화 기법으로 그 가치를 인정받고 있다.¹²⁻¹⁴ CBCT는 비교적 짧은 영상획득시간, 구입비용 감소 등의 장점이 있으나, 산란방사선으로 인한 노이즈의 증가, 골단에서의 빔경화효과에 의한 인공음영, 검출기의 제한된 성능과 영상처리과정에서 발생하는 인공음영 등에 의해 영상의 질 저하가 발생할 수 있다.^{13,15-17} 따라서 CBCT 영상의 진단적 가치를 평가하기 위해서는 이의 공간적 정확도가 확보되어야 하는데, 나선형이나 다면나선형 전산화단층영상에 대해서는 많은 연구¹⁸⁻²²가 진행된 바 있으나, CBCT 영상에 대한 연구는 미비한 실정이다.

한편 악안면부 질환의 진단과 치료 평가시에는 악골과 치아의 형태적 다양성으로 인해 다면영상재구성과 삼차원 영상재구성을 통한 이들 해부학적 구조의 삼차원적인 이해가 필요하며, 최근에는 임플란트 매식이나 악교정 수술 시 삼차원재구성영상 분석을 통한 술 전 시뮬레이션 등의 필요성이 증대되고 있다.^{23,24} 특히, 골결손부 치유과정의 평가시에서는 골의 두께, 삼차원영상 재구성을 위한 임계치(threshold value)의 설정 조건, 신생골의 물리적 성질 등이 이의 평가에 많은 영향을 미칠 뿐만 아니라, 전산화단층영상은 영상획득과정에서 장치의 고유 특성과 수학적 연산법에 따라 다양한 영상의학적 특징을 보인다. 따라서 최근 치과 임상에 새로이 도입되어 진단적 가치를 인정받고 있는 CBCT영상도 실제 관찰하고자 하는 피사체에 대한 정확한 재현이 가능한지에 대한 영상의학적 평가가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 백서 두정골 부위에 인위적으로 골결손부를 형성한 다음, 이의 치유과정 평가시 cone beam형 전산화단층영상의 정확도를 연X사진조건 및 병리조직학적 조건과 비교, 평가하였다.

재료 및 방법

1. 재료

실험동물로는 일정한 조건에서 사육된 생후 16주 이전의 체중 350 gm 내외의 Sprague-Dawley계 웅성 백서 40마리를 사용하였다.

2. 방법

1) 골결손부 형성

실험동물용 마취제인 Zoletil (Vibrac Laboratories, France)을 체중 100 gm당 0.04 mL 근육 내 주사하여 전신 마취시킨 다음, 두정골 부위의 피부를 2 cm 정도 절개하여 골막을 박리한 후, 치과용 절삭 trephine bur를 사용하여 두정부의 두개봉합선의 양측에 걸쳐 뇌경막의 손상이 발생되지 않도록 직경 4 mm의 내, 외측 피질골을 천공하는 원형의 골

손상을 유발한 다음, 두께 1 mm의 collagen sponge (Sulzer Dental Inc., USA)를 매식하고 흡수성 봉합사인 4-0 catgut으로 골막봉합과 4-0 silk로 피부봉합을 시행하였다. 술 후 감염방지를 위하여 겐타마이신 (Dongshin Pharmacy Co., Korea) 0.1 mL를 3일간 근육 내 주사하였다.

2) cone beam형 전산화단층촬영

실험동물용 마취제인 Zoletil을 체중 100 gm당 0.04 mL 복강 내 주사하여 전신 마취시킨 다음, 자체 제작한 고정판 위에 실험동물을 고정하여 촬영 중에 움직임이 발생하지 않도록 하였다. 촬영장치로는 PSR-9000N™ Dental CT system (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd, Japan)을 이용하여 dental mode로 촬영하였다. 촬영조건은 관전압 60 kVp, 관전류 8 mA, 노출시간은 13.3초이었다. 촬영 후 얻어진 출력 신호는 12 bit의 디지털신호로 변환되어 workstation (Dual Xeon™ process 2.8 GHz, USA)의 Windows XP™ (Microsoft Co., USA)에서 운영되는 영상획득 및 환자 정보관리 소프트웨어인 ADR software (Asahi Roentgen Ind. Co. Ltd., Japan)에서 410×410×400의 등장성인 0.1 mm 크기의 체적소로 구성되고 DICOM 3.0 format을 가지는 400매의 축방향 단면상을 획득하였다.

3) 실험동물의 희생 및 하악골 적출

골결손부 형성 후 3일, 1주, 2주, 3주, 4주, 6주, 8주에 각각의 실험동물을 관류 고정하여 희생시킨 다음, 두정골을 적출하였다.

4) 연X사진 촬영

적출된 두정골에 대한 연X사진 촬영에 사용된 X선 발생장치는 Softex CSM-2 (Softex Co., Ltd., Japan)이었으며, 사용된 필름은 Fuji X-ray FR (Fuji photo Film Co., Ltd., Japan)이었고, 촬영조건은 관구와 필름간 거리가 60 cm, 관전압 30 kVp, 관전류 2.5 mA, 노출시간은 20초였다. 촬영된 필름은 20°C에서 Rendol (Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan)로 2분간 현상하였으며, RenFix (Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan)로 4분간 정착하였고, 수세와 건조 후 관찰하였다.

3. 연구 항목

1) 영상 평가기준

CBCT 영상의 평가는 41 mm의 직경과 40 mm의 높이로 구성된 volume data를 가지는 400매의 축방향 단면상에 대하여 V-works software (version 5.0, CyberMed Inc., Korea)를 사용하여, 삼차원영상재구성과 다면영상재구성을 시행하였다. 얻어진 영상의 다면영상재구성에서 단면의 두께는 0.1 mm로 하였고, 시상면, 관상면 및 횡단면 영상을 동일한 색조준위와 색조폭으로 조절하여 고해상도의 판독용 모니터에서 관찰하였다. 삼차원영상재구성 시에는 각 실험군에 대하여 각각 다른 4가지의 임계치를 적용하여 영상화하였

는데, 임계치는 V-works에 전시된 히스토그램에서 농도값 (CT number, HU)으로 표시한 후, 200-300 HU, 400-500 HU, 600-700 HU, 800-900 HU의 임계치 범위를 갖도록 하였다.

연X선사진은 film scanner (Microtek Co. Ltd., USA)를 사용하여 2,500 dpi의 해상도와 16 bit 회색조를 갖는 조건으로 주사 후 얻어진 영상을 STARPACS software (Infinit Co. Ltd., Korea)에서 Dicom format으로 영상 변환시켜 V-works로 골결손부의 농도값을 측정하여 이를 정량적으로 평가하였다. 연X선사진과 다면재구성영상 및 삼차원재구성영상에서의 골결손부의 치유 정도의 정량적 평가는 직경 4 mm의 관심영역에서의 골결손부의 농도값과 골결손부와 인접한 정상골 부위의 농도값을 각각 측정한 다음, 정상골 부위의 농도값에 대한 골결손부의 농도값의 백분율을 구하여 정하였다.

$$\text{골결손부 치유정도} = \frac{\text{골결손 부위의 농도값}}{\text{정상골 부위의 농도값}} \times 100$$

2) 병리조직학적 관찰

절취한 하악골을 10% 중성 formalin 용액에 충분히 고정 한 후, Calci-clean Rapid (National Diagnostic Co., USA)로 탈회시켜 통법에 따라 paraffin 포매하고, 6-8 μm 두께의 연속절편을 만들어 hematoxylin-eosin 이중염색과 Masson

trichrome 염색을 시행하여 골결손부에서의 신생골의 형성 정도를 광학현미경으로 관찰하였다.

3) 통계학적 분석

각 연구항목을 통계분석하기 위하여 SPSS software (version 11.0.1, SPSS Inc., USA)를 이용하였으며, 각 실험군에서 연X선사진과 CBCT의 다면재구성영상 및 삼차원재구성영상들간의 유의성에 대해서 Wilcoxon signed ranks test를 시행하였다.

결 과

1. 연X선사진 소견

실험 3일과 1주에는 골결손부에 골형성 소견이 관찰되지 않았으나, 실험 2주와 3주에는 골결손부의 변연에서 신생골의 형성이 관찰되었다. 실험 4주에는 골결손부의 변연으로부터 심부로의 골소주의 형성이 관찰되었고, 실험 6주에는 실험 4주에 비하여 보다 뚜렷한 골소주가 관찰되었다. 실험 8주에는 보다 중심부로 확장된 골형성이 관찰되었고, 부분적으로 골결손부를 가로지르는 골소주가 관찰되었으나, 골결손부의 전체적인 회복 소견은 관찰되지 않았고, 골이 형성된 부위의 골소주는 보다 치밀하게 관찰되었

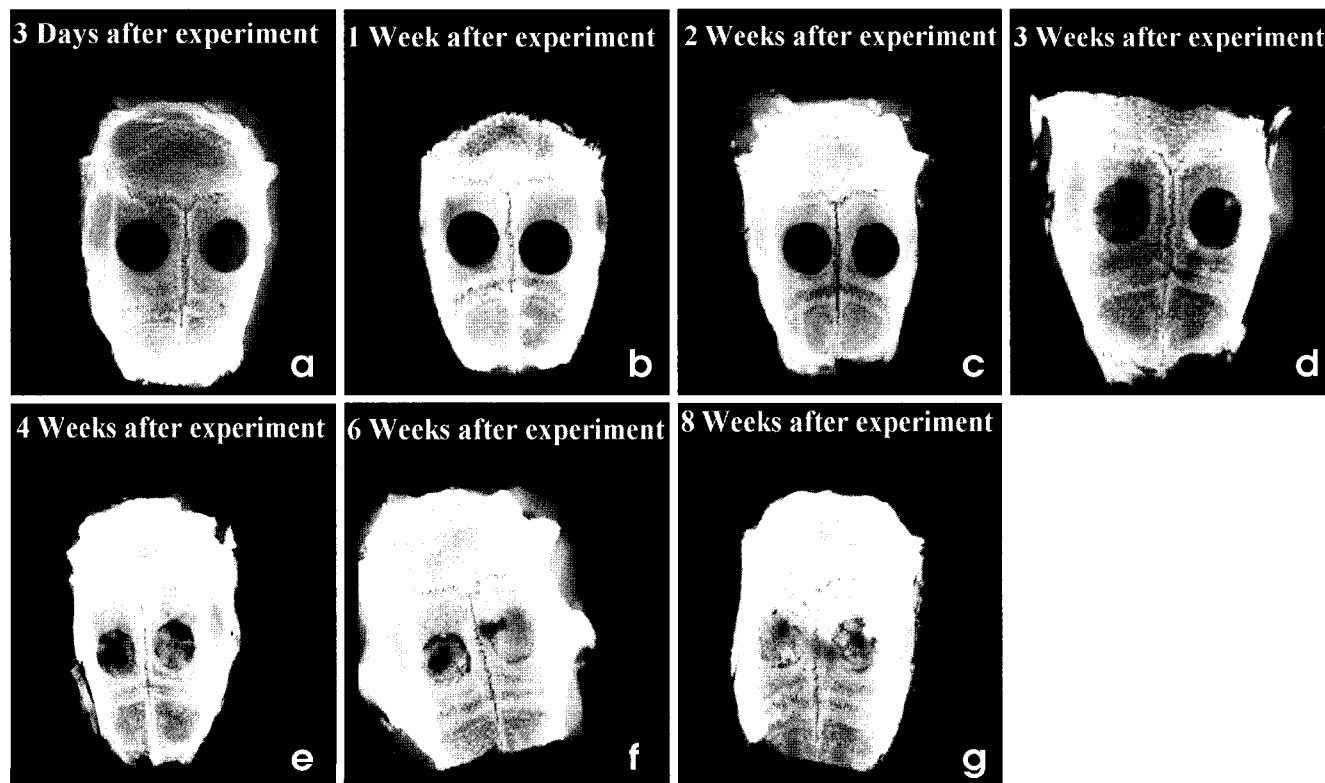


Fig. 1. Soft X-ray radiographs at 3 days after bone defect formation (a), 1 week after bone defect formation (b), 2 weeks after bone defect formation (c), 3 weeks after bone defect formation (d), 4 weeks after bone defect formation (e), 6 weeks after bone defect formation (f), 8 weeks after bone defect formation (g).

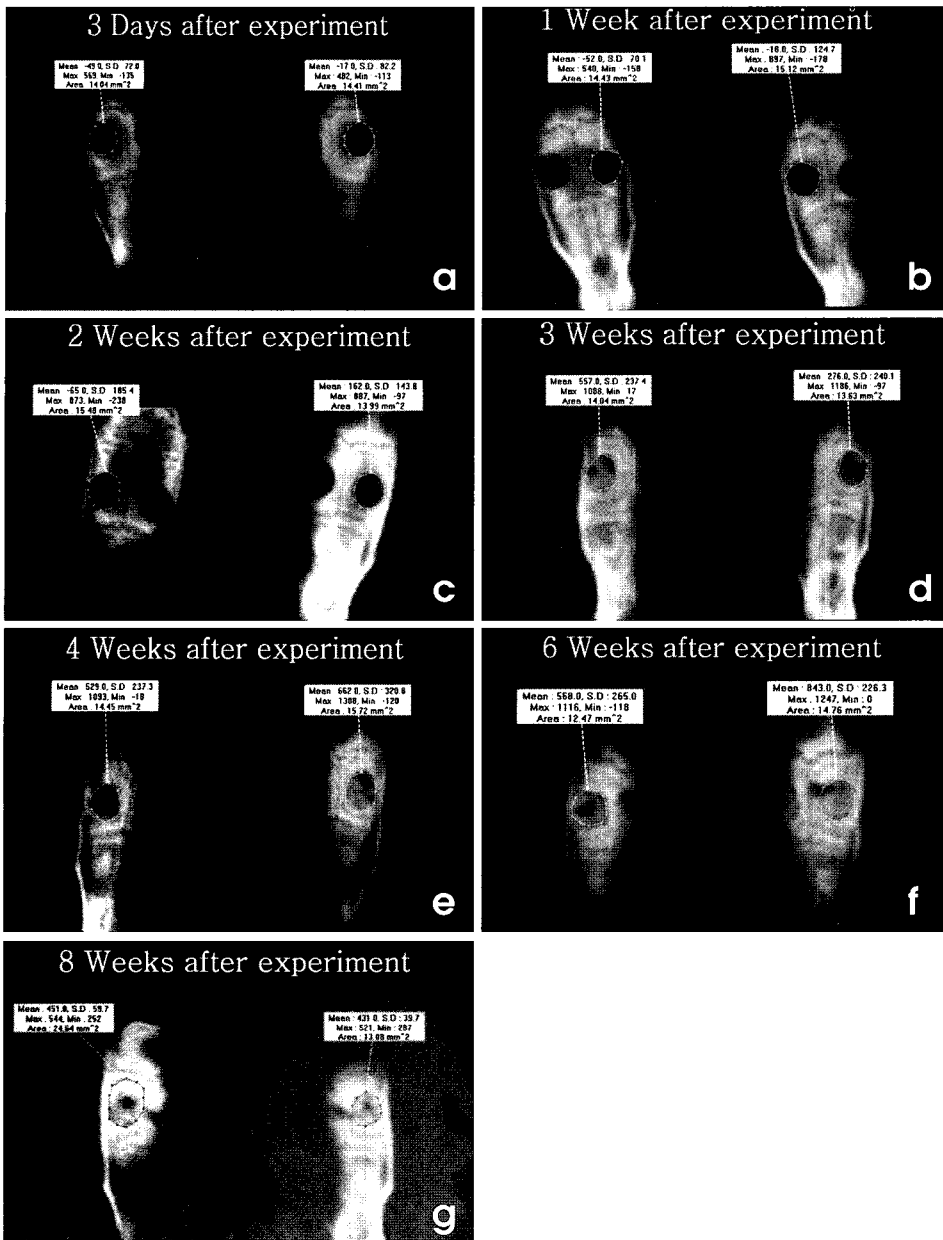


Fig. 2. MPR images of CBCT at 3 days after bone defect formation (a), 1 week after bone defect formation (b), 2 weeks after bone defect formation (c), 3 weeks after bone defect formation (d), 4 weeks after bone defect formation (e), 6 weeks after bone defect formation (f), 8 weeks after bone defect formation (g).

다 (Fig. 1).

2. cone beam형 전산화단층영상 소견

1) 다면재구성영상 소견

다면재구성영상에서 실험 3일과 1주에는 골결손부의 골형성 소견이 관찰되지 않았으나, 실험 2주와 3주에는 골결손부의 변연에서 골형성 소견이 관찰되기 시작하여, 실험 4주와 6주에서는 골결손부의 변연으로부터 심부로 진행된 골형성 소견이 관찰되었다. 실험 8주군에서는 보다 진행된 골형성 소견이 관찰되었으나, 전체 골결손부의 완전한 회복은 관찰되지 않았다 (Fig. 2). 골결손부 치유 정도에 대한 연X선사진 소견과는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않

았다 (P -value > 0.05) (Fig. 4).

2) 삼차원재구성영상 소견

임계치 200-300 HU에서는 실험 3주, 4주, 6주 및 8주에서 연X선사진 소견과 다면재구성영상에 비해 보다 골치유가 진행된 양상으로 관찰되었다. 실험 3일, 1주, 2주에서는 골결손부가 명확히 관찰되었으나, 실험기간에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않았다. 골결손부 치유정도는 연X선사진 소견과 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (P -value < 0.05). 임계치 400-500 HU에서는 실험 3일, 1주, 2주에서는 골결손부가 명확히 관찰되었고, 실험 2주, 3주, 4주 및 6주에서는 골결손부의 변연의 형태가 불규칙해지면서 내부로 신생골의 형성에 따른 골결손부의 회복 소견을 보였으나, 연X선

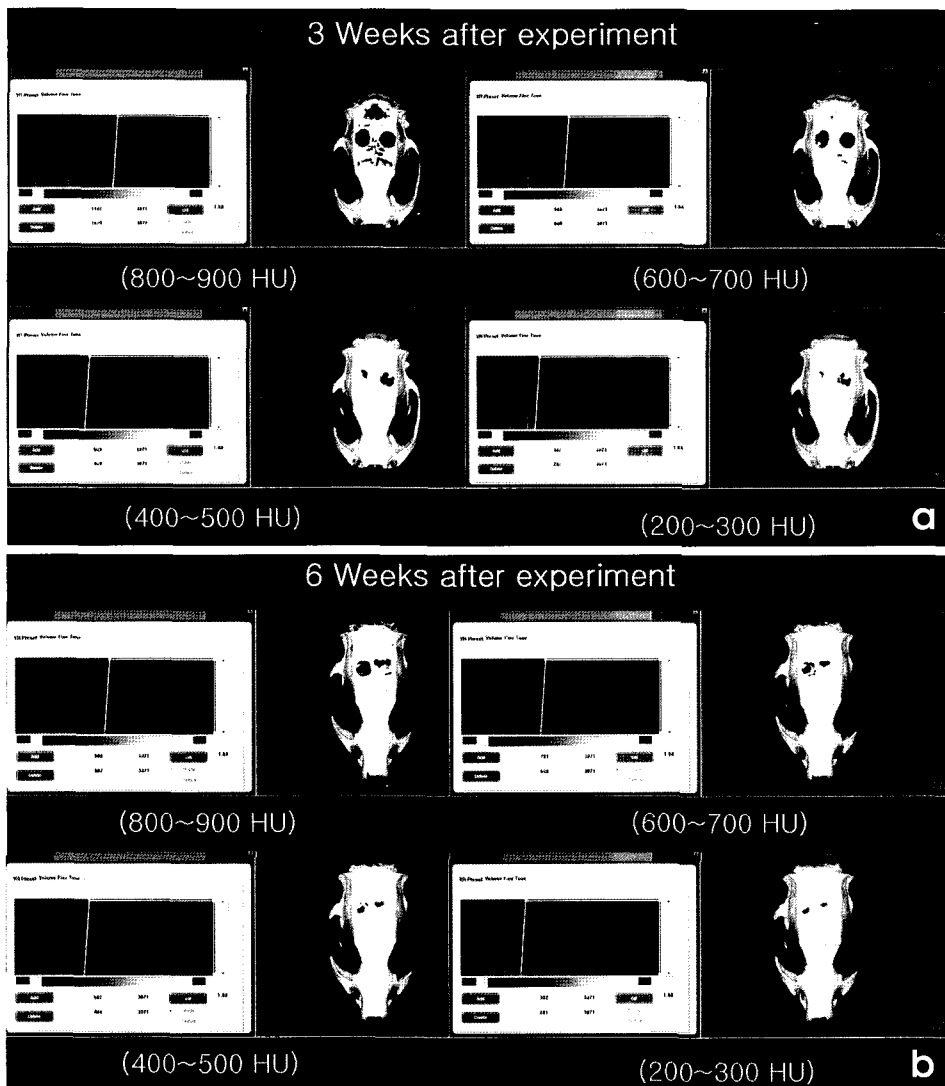


Fig. 3. 3-D CT images using V-Works 5.0 software reconstructed under four threshold values at 3 weeks after bone defect formation (a), 6 weeks after bone defect formation (b).

사진 소견과 일치하지는 않았다. 실험 8주에서는 골형성 및 골결손부의 형태가 연X선사진 소견과 유사하게 관찰되었다. 골결손부 치유 정도에 대한 연X선사진 소견과는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P\text{-value} > 0.05$). 임계치 600-700 HU와 800-900 HU에서는 실험 3주, 4주, 6주, 8주에서 연X선사진 소견과 다면재구성영상에 비해 골결손부의 치유 양상이 관찰되지 않았고, 골결손부 주변의 정상 골에서도 다공성의 골결손 소견을 보였다. 실험 3일, 1주, 2주에서는 골결손부가 명확히 관찰되었으나, 골결손부의 크기가 보다 확장된 양상을 보였고, 주변의 얇은 골 부위에서도 다공성의 골결손 소견이 관찰되었다. 골결손부 치유 정도에 대한 연X선사진 소견과는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($P\text{-value} < 0.05$) (Figs. 3-5).

3. 병리조직학적 소견

실험 3일과 1주에는 골결손부에 응혈괴와 이식재가 관찰되었으며, 골결손부의 변연으로부터 섬유모세포와 모세

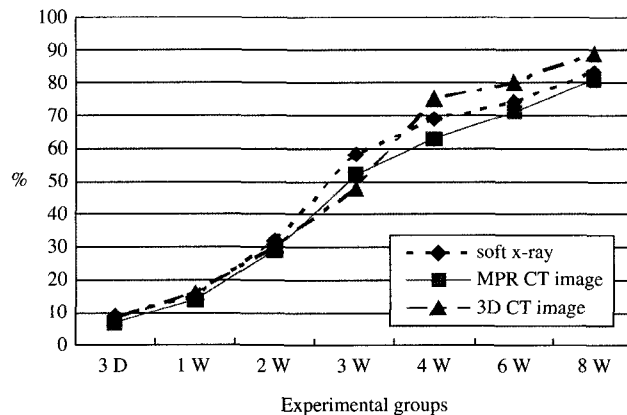


Fig. 4. Correlation between soft X-ray radiographs, MPR images, and 3-D images.

혈관을 가진 섬유성 결합조직이 관찰되었다. 실험 2주와 3주에서는 골결손부 내에 골양조직의 형성과 많은 수의 신

생 골소주가 활성화된 양상을 보였으며, 골결손부의 변연에서는 잘 분화된 조골세포가 관찰되었다. 실험 4주와 6주에는 골결손부에 골조직이 점차로 형성되어 성숙된 골소

주 양상을 보이는 골개조의 소견이 관찰되었다. 실험 7주에서는 골결손부의 석회화가 더욱 진행되었고, 골소주도 치밀해졌으며, 성숙된 골소주가 치밀하게 배열되었다(Fig. 6).

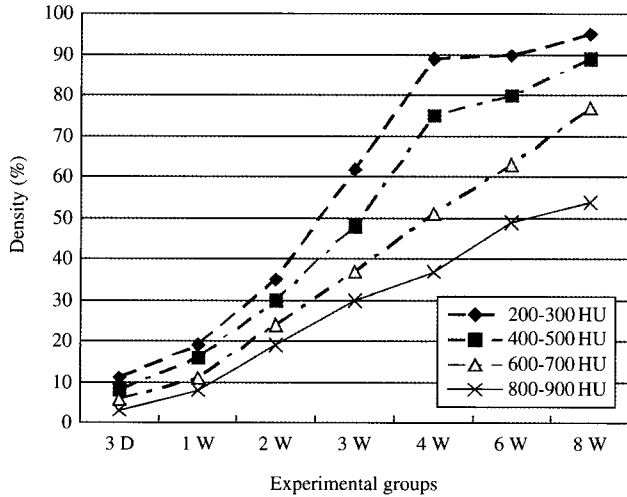


Fig. 5. Comparative density (%) of images reconstructed under four threshold values for bone defects.

고 찰

전산화단층영상의 영상의학적 진단능의 평가에는 팬텀 (phantom),²⁰⁻²² 사체,^{18,25-27} 실험동물이나 인체^{1,28,29}가 주로 이용되고 있는데, 각각의 연구방법들은 객관적이고 정량화된 개별적인 평가기준을 가지고 있어야 한다. 그러나 팬텀을 이용한 연구방법이 기하학적 특징을 가진 물체에 대한 객관적인 평가기준을 가지고 있음에도 불구하고, 그 평가 결과를 실제 인체에 적용하기에는 필연적으로 정확도에 대한 문제가 야기될 수 있다. 더욱이 다면재구성영상과 삼차원재구성영상에 대한 평가 시에는 관찰하고자 하는 해부학적 구조의 복잡성과 형태적 다양성으로 인해 실제 임상에서 환자에게 적용하는 기준으로서 가치가 있는지에 대해서는 논란이 있을 수 있으므로 본 연구에서는 골결손부 치유과정에서 CBCT 영상의 정확도를 연X선사진 소견

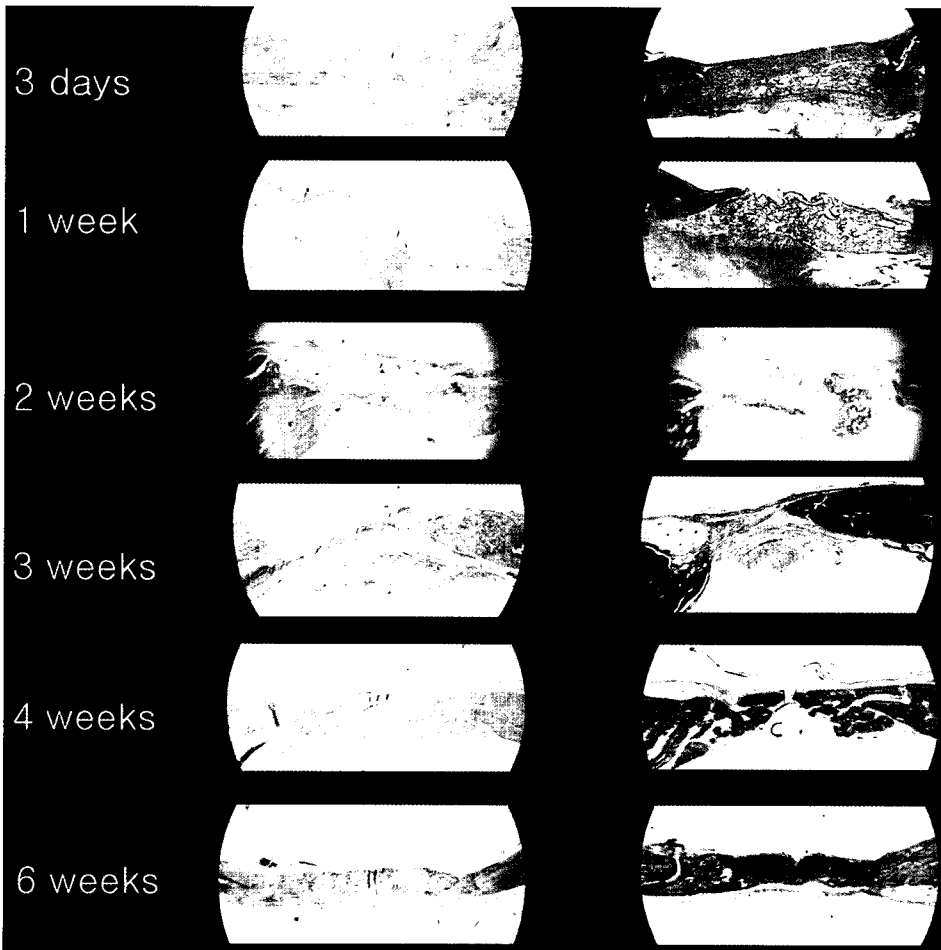


Fig. 6. Photomicrograph of the bone defect of experimental groups (H & E and Masson trichrome stains, ×40).

및 병리조직학적 소견과 비교, 평가하여 CBCT 영상의 진단적 유용성을 검증하였다.

본 연구에서는 외과적인 접근이 용이하고, 합병증의 위험성이 적으며, 골결손부의 치유양상을 평가한 다양한 연구들²⁹⁻³³에 이용된 바 있는 백서의 두정골 부위에 골손상을 유발시켰으며, 골결손부의 크기가 4-7 mm인 경우 자발적인 치유가 진행되지 않는다는 연구들³⁴⁻³⁶을 참조하여 직경 4 mm의 원형의 골결손부를 형성하였다. 또한 골결손부에 collagen sponge를 매식하여 골결손부의 치유과정이 보다 동일한 조건에서 이루어지도록 하였는데, collagen sponge는 골결손부에 인접한 조직에서 섬유성 결체조직과 상피의 이주를 차단하는 골전도 효과가 있다.

일반적으로 실험병소에 대한 골치유 평가의 가장 이상적인 기준으로는 병리조직학적 소견이 우선적으로 고려되고 있으나, 절편의 제작과정 중에 발생하는 오차와 단편적인 정보로 인해 전체적인 골치유 양상의 평가에는 한계가 있는 것으로 보고되고 있다. Zellin 등,³⁷ Higuchi 등³⁸은 실험적 골병소에서 중심부로의 불균일한 골형성으로 인해 전체적인 골형성에 대한 평가에는 한계가 있다고 하였다.

본 연구에서는 골결손부 치유과정에서 cone beam형 전산화단층영상의 정확도를 병리조직학적 소견을 참고로 하여 연X선사진 소견과 비교, 평가하였는데, Schortinghuis 등³⁹은 백서의 하악골 골결손부의 치유 양상 평가시 연X선사진에서는 신생골의 두께가 0.09 mm 미만인 경우에만 관찰이 불가능하므로 골형성 여부에 대한 평가에 연X선사진이 매우 적합하다고 하였다.

본 연구에서 골결손부의 신생골 형성조건은 다면영상재구성과 삼차원재구성영상에서 실험 3일, 1주, 2주 및 8주에서는 연X선사진 소견 및 병리조직학적 소견과 유사하였으나, 실험 3주, 4주 및 6주에서는 골치유 양상에 대한 영상 재현이 제대로 이루어지지 않아 진단능이 낮게 평가되었다. 이는 골결손부에 대한 초기 평가와 골형성이 진행된 단계에서는 진단적 가치가 높으나, 골형성이 진행 중인 경우 신생골의 무기질 함량의 차이와 골형성의 형태적 불균일성으로 인해 골치유에 대한 적절한 재현이 이루어지지 못함으로써 영상적 평가의 오류가 발생할 수 있음을 보여주는 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 삼차원재구성 영상에 비해 다면재구성영상에서의 골결손부 치유 소견이 연X선사진 소견 및 병리조직학적 소견과 유사한 소견을 보였는데, 이는 본 연구에 이용된 CBCT 영상은 0.1 mm의 체적소로 구성되어 있으며, 등장성의 공간분해능을 갖는 volume data를 얻을 수 있어 골결손부의 미세한 변화에 대한 재현이 높았고, 다면재구성영상의 왜곡이 발생되지 않아 정보의 손실이 최소화 되었기 때문인 것으로 판단된다. Kuhlman 등⁴⁰은 안면부의 골절 환자에서 얻은 전산화단층영상으로부터 다면영상재구성을 시행하여 진단학적 가치를 평가한 결과, 일반 방사선사진과 임상 검사를 통하여

평가를 할 수 없었던 환자들에게 전산화단층영상의 다면영상재구성 기법이 중요한 진단방법이 된다고 하였다.

한편 획득된 전산화단층영상으로부터 삼차원영상 재구성 시에는 골조직을 선별적으로 추출하기 위해 다양한 수학적 연산법이 적용되는데, 이와 관련된 매개변수인 임계치의 결정은 술자의 경험과 자습에 의해 이루어지게 되며, 이로 인해 삼차원재구성영상의 진단적 부정확성이 발생될 가능성이 높다.¹⁸⁻²¹ 또한 단층촬영된 이차원영상들을 삼차원영상으로 재구성하기 위해서는 대상 물체에 대한 공간적 모델을 구축한 후, 이를 rendering함으로써 이뤄지게 되는데, rendering 방법에는 표면모델링(surface-rendering display)과 체적모델링(volume-rendering display)의 두 가지 방법으로 대별된다. 이러한 과정 중에 삼차원영상의 정확성을 높이기 위해서는 공간적 모델을 구축하는 전산화단층영상과의 연관성을 갖고 시행하는 것이 중요하며, 임계치, 색조준위와 색조폭을 결정함에 있어 원본 전산화단층영상을 기반으로 하는 엄격한 적용이 필요하다.¹⁴¹ 본 연구에서는 각기 다른 4가지의 임계치를 적용하여 삼차원영상을 재현하였는데, 이 중 400-500 HU를 적용한 경우가 기준이 되는 연X선사진과 유사한 재현을 보였으며, 임계치를 낮게 설정한 경우에는 골손상 부위에 존재하는 다른 조직들이 골이 형성된 것처럼 관찰되었고, 임계치를 높게 설정한 경우에는 얇은 골부위와 신생골 부위가 다공성으로 관찰되었다. 이는 삼차원영상 재구성시 volume data를 구성하는 단면영상에 대한 이해가 충분히 이루어져야만 정확한 삼차원재구성 영상의 재현성이 확보될 수 있음을 보여준다. CBCT 영상은 이차원적인 검출기를 이용하여 균등하게 분할된 volume data를 얻어 이를 영상화함으로써 기존의 전산화단층영상에서 발생할 수 있는 왜곡이 발생되지 않고, 영상재구성 연산법의 적용 시에 발생하는 정보의 손실을 최소화할 수 있다.^{13,14} 그러나 이차원 평면의 검출기를 사용함으로써 발생된 산란선이 신호 대 잡음비를 증가시켜 대조도 분해능(contrast resolution)의 저하를 야기하고, 특히 연조직에 대한 대조도가 낮아지는 영상적 특징을 보인다.¹⁵ 또한 골단에서 발생하는 빔경화효과에 의한 인공음영, 검출기의 제한된 성능, 영상처리과정에서 발생하는 인공음영 및 노출시간 동안 발생할 수 있는 피사체의 움직임에 의해 영상의 질 저하가 발생되고, 재구성 영상의 정확도의 손실이 발생할 수 있다.^{13,16,17}

이상의 연구결과, 연X선사진 소견 및 병리조직학적 소견과 비교한 골결손부 치유시 cone beam형 전산화단층영상에서 다면재구성영상과 삼차원재구성영상의 정확도는 다면재구성영상이 유사한 소견을 보였고, 삼차원재구성영상에서는 임계치 설정에 따른 차이를 보임으로써 다면재구성영상과 유사한 재현을 보이도록 영상재구성을 시행하는 것이 필요하며, 골결손부의 전 치유과정 중에 진단적 정확도가 낮은 기간이 존재하였으므로 이를 참고하여 평가가

이루어져야 할 것으로 사료된다. 더욱이 현재 개발된 cone beam형 전산화단층촬영장치는 방사선발생장치의 성능과 상수용기의 특성에 따라 다양한 영상의학적 특징과 한계성을 갖고 있어 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Ozcelik D, Huthut I, Kuran I, Bankaoglu M, Orhan Z, Mayda AS. Comparison of accuracy of three-dimensional spiral computed tomography, standard radiography, and direct measurements in evaluating facial fracture healing in a rat model. *Ann Plast Surg* 2004; 53 : 473-80.
- Grigoryan M, Lynch JA, Fierlinger AL, Guermazi A, Fan B, MacLean DB, et al. Quantitative and qualitative assessment of closed fracture healing using computed tomography and conventional radiography. *Acad Radiol* 2003; 10 : 1267-73.
- Marsh D. Concepts of fracture union, delayed union, and nonunion. *Clin Orthop Relat Res* 1998; 355 : 22-30
- Schiff T, D'Ambrosio J, Glass BJ, Langlais RP, McDavid WD. Common positioning and technical errors in panoramic radiography. *J Am Dent Assoc* 1986; 113 : 422-6.
- DelBalso AM, Hall RE. Advances in maxillofacial imaging. *Curr Probl Diagn Radiol* 1993; 22 : 91-142.
- Lam EW, Ruprecht A, Yang J. Comparison of two-dimensional orthoradially reformatted computed tomography and panoramic radiography for dental implant treatment planning. *J Prosthet Dent* 1995; 74 : 42-6.
- Klinge B, Petersson A, Maly P. Location of the mandibular canal: comparison of macroscopic findings, conventional radiography, and computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989; 4 : 327-32.
- Fox LA, Vannier MW, West OC, Wilson AJ, Baran GA, Pilgram TK. Diagnostic performance of CT, MPR and 3D CT imaging in maxillofacial trauma. *Comput Med Imaging Graph* 1995; 19 : 385-95.
- Wang P, Yu Q, Shi H. Comparison of 2D-CT and 3D-CT in diagnosing mid-facial fractures. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2001; 36 : 256-8.
- Levy RA, Kellman RM, Rosenbaum AE. The effect of computed tomographic scan orientation on information loss in the three-dimensional reconstruction of tripod zygomatic fractures. *Invest Radiol* 1991; 26 : 427-31.
- 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.
- Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003; 6 : 31-5.
- 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.
- Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Rother UJ. 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.
- Endo M, Tsunoo T, Nakamori N, Yoshida K. Effect of scattered radiation on image noise in cone beam CT. *Med Phys* 2001; 28 : 469-74.
- Brooks RA, DiChiro G. Beam hardening in reconstructive tomography. *Phys Med Biol* 1976; 21 : 390-8.
- Hsieh J, Molthen RC, Dawson CA, Johnson RH. An iterative approach to the beam hardening correction in cone beam CT. *Med Phys* 2000; 27 : 23-9.
- Aamodt A, Kvistad KA, Andersen E, Lundlarsen J, Eine J, Benum P, et al. Determination of the Hounsfield value for CT-based design of custom femoral stems. *J Bone Joint Surg Br* 1999; 81 : 143-4.
- Wiemker R, Zwartkruis A. Optimal thresholding for 3D segmentation of pulmonary nodules in high resolution CT. *Proceedings of CARS 2001*; Elsevier Publishers; 2001. p. 653-8.
- Prevrhal S, Engelke K, Kalender WA. Accuracy limits for the determination of cortical width and density: the influence of object size and CT imaging parameters. *Phys Med Biol* 1999; 44 : 751-64.
- Kang Y, Engelke K, Kalender WA. A new accurate and precise 3-D segmentation method for skeletal structures in volumetric CT data. *IEEE Trans Med Imaging* 2003; 22 : 586-98.
- De Man B, Nuyts J, Dupont P, Marchal G, Suetens P. Reduction of metal streak artifacts in X-ray computed tomography: a simulation study. *IEEE Trans Nucl Sci* 1999; 46 : 691-6.
- van Steenberghe D, Naert I, Anderson M, Brajnovic I, Van Cleynenbreugel J, Suetens P. A custom template and definitive prosthesis allowing immediate implant loading in the maxilla: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002; 17 : 663-7.
- Schutysse F, Van Cleynenbreugel J, Ferrant M, Schoenaers J, Suetens P. Image-based 3D planning of maxillofacial distraction procedures including soft-tissue implication. *LNCSC 2000*; 1935 : 999-1008.
- Marmulla R, Wortche R, Muhling J, Hassfeld S. Geometric accuracy of the NewTom 9000 Cone Beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2005; 34 : 28-31.
- Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. Accuracy in measurements of distance using limited cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19 : 228-31.
- Lascaia CA, Pamella JH, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol* 2004; 33 : 291-3.
- Alden TD, Beres EJ, Laurent JS, Engh JA, Das S, London SD, et al. The use of bone morphogenetic protein gene therapy in craniofacial bone repair. *J Craniofac Surg* 2000; 11 : 24-30.
- Sweeney TM, Opperman LA, Persing MD, Ogle RC. Repair of critical size rat calvarial defects using extracellular matrix protein gels. *J Neurosurg* 1995; 83 : 710-5.
- Bosch C, Melsen B, Vargervik K. Guided bone regeneration in calvarial bone defects using polytetrafluoroethylene membranes. *Cleft Palate Craniofac J* 1995; 32 : 311-7.
- Chung CP, Kim DK, Park YJ, Nam KH, Lee SJ. Biological effects of drug-loaded biodegradable membranes for guided bone regeneration. *J Period Res* 1997; 32 : 172-5.
- Dupoirieux L, Neves M, Pourquier D. Comparison of pericranium and eggshell as space fillers used in combination with guided bone regeneration: an experimental study. *J Oral Maxillofac Surg* 2000; 58 : 40-6.
- Dupoirieux L, Pourquier D, Picot MC, Neves M. The effect of pentosan polysulphate on bone healing of rat cranial defects. *J Cranio-maxillofac Surg* 1999; 27 : 314-20.
- Schmitz JP, Hollinger JO. The critical size defect as an experimental model for craniomandibulofacial nonunions. *Clin Orthop Relat Res* 1986; 205 : 299-308.

35. Hollinger JO, Kleinschmidt JC. The critical size defect as an experimental model to test bone repair materials. *J Craniofacial Surg* 1990; 1 : 60-8.
36. Aaboe M, Pinholt EM, Hjørting-Hansen E. Healing of experimentally created defects: a review. *Br J Oral Maxillofacial Surg* 1995; 33 : 312-8.
37. Zellin G, Linde A. Importance of delivery systems for growth-stimulatory factors in combination with osteopromotive membranes. An experimental study using rhBMP-2 in rat mandibular defects. *J Biomed Mater Res* 1997; 35 : 181-90.
38. Higuchi T, Kinoshita A, Takahashi K, Oda S, Ishikawa I. Bone regeneration by recombinant human bone morphogenetic protein-2 in rat mandibular defects. An experimental model of defect filling. *J Periodontol* 1999; 70 : 1026-31.
39. Schortinghuis J, Ruben JL, Meijer HJ, Bronckers AL, Raghoobar GM, Stegenga B. Microradiography to evaluate bone growth into a rat mandibular defect. *Arch Oral Biol* 2003; 48 : 155-60.
40. Kuhlman JE, Fishman EK, Magid D, Scott WW Jr, Brooker AF, Siegelman SS. Fracture nonunion: CT assessment with multiplanar reconstruction. *Radiology* 1988; 167 : 483-8.
41. Phillips CD. Neuroradiologic imaging in craniofacial surgery. In: *Craniofacial Surgery: Science and Surgical Technique*. Philadelphia: WB Saunders; 2002. p. 153-60.