

치아회분과 석고혼합제재 매식후 Digital Subtraction Radiography에 의한 골량 변화의 평가

김재덕 · 김광원 · 조영곤 · 김동기 · 최의환
조선대학교 구강생물학연구소

Evaluation of Bone Change by Digital Subtraction Radiography after Implantation of Tooth Ash-plaster Mixture

Jae-Duk Kim, Kwang-Won Kim, Young-Gon Cho, Dong-Kie Kim, Eui-Hwan Choi
Oral Biology Research Center, Chosun University

Purpose : To assess the methods for the clinical evaluation of the longitudinal bone changes after implantation of tooth ash-plaster mixture into the defect area of human jaws.

Materials and methods : Tooth ash-plaster mixtures were implanted into the defects of 8 human jaws. 48 intraoral radiograms taken with copper step wedge as reference at soon, 1st, 2nd, 4th, and 6th week after implantation of mixture were used. X-ray taking was standardized by using Rinn XCP device customized directly to the individual dentition with resin bite block. The images inputted by Quick scanner were digitized and analyzed by NIH image program. Cu-equivalent values were measured at the implanted sites from the periodic digital images. Analysis was performed by the bidirectional subtraction with color enhancement and the surface plot of resliced contiguous image. The obtained results by the two methods were compared with Cu-equivalent value changes .

Results : The average determination coefficient of Cu-equivalent equations was 0.9988 and the coefficient of variation of measured Cu values ranged from 0.08 ~ 0.10. The coefficient of variation of Cu-equivalent values measured at the areas of the mixture and the bone by the conversion equation ranged from 0.06 ~ 0.09. The analyzed results by the bidirectional subtraction with color enhancement were coincident with the changes of Cu-equivalent values. The surface plot of the resliced contiguous image showed the three dimensional view of the longitudinal bone changes on one image and also coincident with Cu-equivalent value changes after implantation.

Conclusion : The bidirectional subtraction with color enhancement and the surface plot of the resliced contiguous image was very effective and reasonable to analyze clinically and qualitatively the longitudinal bone change. These methods are expected to be applicable to the non-destructive test in other fields. (*J Korean Oral Maxillofac Radiol 1999;29:423-434*)

Key words : longitudinal bone change, bidirectional subtraction, resliced contiguous image, surface plot

I. 서론

임상적으로 경조직 결손부에 대한 치아회분

매식술을 시행한 후 그 시술에 대한 평가가 조기에 이루어져 치유 과정이 수시로 평가되어야 함에도 불구하고 현재까지 사용되고 있는 방사선진

단기기는 이러한 조기 평가를 하기에는 그 기능이 너무 미흡하여 시술 자체 및 성공 여부를 평가하는 방법으로는 극히 초보적 상태라 할 수 있다^{1,2,3)}.

조직병리학적 평가를 통해 끝내 회복양상이 확인^{4,5)}되었다하여도 이는 병소의 국한된 부위에 대한 평가이며 임상적인 측면에서 매식술을 시행한 후 환자에게서는 합병증이 발생할 가능성이 있고⁶⁾ 매식제들은 끝내에서 다양하게 변화할 가능성을 배제할 수 없으므로 결손부 전체의 진행과정과 성공적 회복 여부를 임상적으로 평가할 간편하고도 정밀한 평가 방법이 필요하다.

디지털방사선공제술은 배경잡상이나 진단상 불필요한 해부학적구조물을 제거하고 화상에서 강조 또는 추출처리하여 얻은 공제상을 모니터상에 나타내는 컴퓨터이용 영상해석으로서 Webber등⁶⁾과 Gröndahl등⁷⁾에 의해 치조골의 미세변화를 평가하기 위해 치과방사선사진법에 처음 도입되었다. 그 이후 Okano등⁸⁾ 그외 여러 학자들⁹⁻¹⁴⁾이 공제술을 이용하여 치조골의 미세변화 검출, 치주치료, 치아우식의 평가 등에 맞추어 실험 및 임상응용을 시행하여 왔다.

한편 Webber등¹⁵⁾과 Janssen등¹⁶⁾이 디지털방사선사진의 평가에 있어서 오류와 문제점들을 지적하였고 Wenzel등¹⁷⁾은 화상잡음의 원인, Ohki등¹⁸⁾은 대조도 보정방법을 발표하였으며 Duckworth등¹⁹⁾은 방사선대조도를 표준화하기 위해 알루미늄 스텝웨지를 사용한 이래 이러한 참조체를 기준으로 하여 전체영상을 참조체당량치로 변환시켜 골조직을 평가하는 방법이 최근 확립되어 디지털영상을 정량적인 진단정보로 취급할 수 있게 되었다.

평가방법으로는 과거 방사선사진에 대해 마이크로토크시도메타를 이용해 점이나 선에 대해 농도측정을 시행한 이래, 컴퓨터를 이용하여 관심영역 그리고 전체영상상에 대해 ROC분석²⁰⁾, 색상강화²¹⁾ 그리고 parallel plot²²⁾ 등의 분석이 시행되어 왔다. 이에 본 연구는 경조직 결손부에 대한 치아회분매식술을 시행한후 미세골량변화의 평

가 가능한 시기를 결정하고 골파괴 또는 회복의 골량 변화의 간편한 평가기준을 마련하여, 전체 결손부의 회복되는 양상을 주기적으로 평가하여 집적(集積)함으로써 공제술에 의해 변화부분만을 화상으로 얻어 연속시간영상의 surface plot으로 모식화하여 체계적인 임상적 평가방법을 마련하고자 하였다.

이를 위해 치아회분을 골결손부에 매식한 다음 시간의 경과에 따라 주기적으로 방사선사진을 규격화하여 촬영하고 이들을 이용하여 공제영상을 얻어 구리당량영상으로 작성하였다. 이들 공제영상을 색상강화하여 정성적평가를 하고 구리당량영상에서는 변화량을 정량적으로 평가한 다음, 이들 경과에 따라 얻어진 영상들을 연속으로 중첩시켜 매식부위의 시간에 따른 변화상을 연속 시간영상으로 재형성하였다. 이를 surface plot으로 가시화함으로써 골결손부 내부에서 총괄적으로 일어나는 골회복 양상을 모식화하여 매식제의 충전양상에 따른 치유양상의 변화를 분석하였다.

II. 연구재료 및 방법

1) 연구재료

구리당량영상의 재현성검사를 위해 폭 5mm, 두께 0.1mm부터 1mm까지 10단계로 총길이 33mm의 구리스텝웨지를 시료로 하여 동일조건하에서 10회 규격촬영을 행한 방사선사진을 이용하였다.

임상적평가로서는 200mesh의 하이드록시아파타이트와 석고(2:1)의 혼합매식제를 부속치과병원에 내원한 환자8명에 대해 낭종적출술, 치근단절제술, 양성악골종양절제술 등을 시행한 후 발생한 악골결손부에 매식한 후 시간경과에 따른 규격촬영을 시행하였다. 촬영은 시술전, 시술직후, 1주, 2주, 3주, 4주후에 시행하여 각 6매씩 총 48매의 규격화 방사선사진을 사용하였다.

2) 규격화 구내방사선촬영 및 영상처리

규격촬영을 위해 Rinn XCP 장치(X)에 아크릴릭 레진으로 개개인에 맞는 교합상(B)을 제작하여 위치적 규격화를 행하였고 필름상단에 구리스텝웨이(C)를 부착하여 필름흑화도의 규격화에 이용하였다(Fig. 1). 방사선사진은 감광도 E군의 치근단용 방사선필름(Kodak Co., U.S.A.)을, 구내방사선촬영장치(Siemens Co., Germany)로 60kVp, 10mA, 0.20초 조건에서 촬영하였고, 이들의 현상은 자동현상기(DüRR Dental, Germany)를 이용하였다.

영상 처리는 파워 매킨토시 7200/120 컴퓨터(Apple computer Inc., U.S.A.)와 15인치 컬러 모니터(Apple computer Inc., U.S.A.)를 이용하였다. 컴퓨터에 연결된 최대 2800dpi를 지원하는 Quick Scanner(Minolta, Japan)를 이용하여 촬영된 방사선사진상을 입력하였고, 입력된 영상은 640x480 픽셀의 공간 해상도와 256 계조도를 지원하도록 디지털화되었다. 영상분석에는 NIH image(ver.1.56, National Institutes of Health, U.S.A.) 프로그램을 이용하였다.

3) 구리당량영상평가

구리스텝웨이와 함께 촬영된 모든 방사선사진상을 스캐너로 컴퓨터에 입력한 뒤 NIH 프로그램을 이용하여 화면상에서 구리스텝웨이의 각 단계마다 일정한 영역의 평균 계조도를 구하였다. 구리스텝웨이의 적용방법에 따라 변환관계식의 신뢰도인 결정계수와 측정된 구리당량치에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 0.1mm에서 0.9mm의 9단계, 1.0mm를 포함시킨 10단계 등 구리스텝의 단계수를 달리하여 계조도와 웨지의 두께의 관계식을 작성하고 작성된 모든 관계식의 신뢰도를 나타내는 결정계수(r^2)를 구하였다.

이어 변환식에 의해 구리당량화상으로 재구성된 영상에서 구리스텝웨이의 각 단계의 관심영역에서 평균구리당량치, 표준편차 그리고 변동계수를 구하였다.

4) 임상분석

가) 양방향공제술 및 색상강화에 의한 평가

각 증례의 시간경과에 따른 골의 흡수양상을 평가하기 위해 모든 구리당량영상에서 매식직후 영상을 대조영상으로 하여 매식 1주후, 2주후, 3주후, 4주후영상으로 부터 대조영상을 각각 공제하였다. 이어 신생으로 형성되는 골의 양을 평가하기 위해 반대로 대조영상으로부터 각시간 경과상을 공제하였고 발치전 골조직에 대해 새로 형성된 양을 평가하기 위해 각 시간경과 영상으로부터 술전영상을 각각 공제하였다. 공제된 상들을 한 화면에 모두 나열한 다음 동일 조건의 색상강화를 시행하여 변화양태를 평가하였다.

각 시간경과에 따른 화상에서 연산처리를 통해 계조도보정을 시행하되 정상골부위의 계조도가 동일하도록 보정하여 각 시간 경과영상의 매식영역의 평균구리당량치의 평균치, 표준편차, 변동계수를 구하였다.

나) 연속영상의 재형성에 의한 골변화의 모식화

술부의 시간경과에 따른 골변화 평가를 일괄 평가하기 위해 각 증례의 시간경과에 따른 모든 구리당량영상을 중첩시켰다. 이 중첩상에서 술부에 관심영역을 설정하고 설정된 영역에서 중첩된 상에 수직되는 상으로 재형성함으로써 동일부위에 대한 연속된 상을 작성하였다. 얻어진 연속상을 surface plot으로 처리하여 즉시 입체적으로 가시화시켜 시간 변화에 따른 관심영역의 구리당량치변화를 한영상에 연속구성(Fig. 2)하여 평가하였다. 이어 현재 시판되고 있는 기존기기(Digora)를 이용하여 상기 전단계를 시행하여 얻어진 결과와 화상분석 시스템에서 얻어진 평가방법을 비교하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 구리당량영상평가

동일촬영조건에서 촬영되어 입력된 10개의 영상에서 9단계의 구리스텝을 측정하여 구리당

량영상으로 변환시킨 결과, 연산된 10개의 변환 관계식들의 신뢰도를 나타내는 결정계수 r^2 은 평균 0.9988 ± 0.0058 이었고 그 분포는 표 1에서 보는 바와 같이 0.9996에서 부터 0.9973이었다. 두께 1.0mm 구리단계를 포함시켜 10단계에 의한 변환식을 작성한 경우는 모두 결정계수가 저하되는 양상을 보였다. 가장 결정계수가 높았던 r^2 가 0.9996, 표준편차 0.0043시 변환관계식은 $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$; $a = 4.75614612$ $b = -0.06300524$ $c = 0.00032367$ $d = -0.00000060$ 이었다.

변환관계식에 의해 작성된 구리당량영상에서 측정된 각 단계의 평균구리당량치와 표준편차 및 그 변동계수를 보면 표 2에서 보는 바와 같이 실제 구리 두께 1.0mm에서 평균변동계수는 0.08이지만 평균구리당량치는 0.97, 표준편차 0.08을 보였고 실제 구리두께 0.3mm까지는 변동계수가 0.09에서 0.06까지 분포를 보였다. 0.2와 0.1mm에서는 변동계수 각각 0.11, 0.20를 나타

내었으나 평균구리당량치와 표준편차는 0.19 ± 0.02 , 0.10 ± 0.02 를 나타내었다.

2. 임상분석

가) 공제술 및 색상강화에 의한 평가

각 증례의 시간경과에 따른 골의 흡수양상을 평가하기 위해 매식직후 영상을 대조영상으로 하여 매식 1주후, 2주후, 3주후, 4주후영상으로 부터 대조영상을 각각 공제(Fig. 3 upper)한 결과 1주후 매식체의 변연부에서(연하늘색)흡수가 일어났고 3주째에까지는 매식체의 전반에서 지속적인 매식체의 흡수(A)가 관찰되었으며 4주째에도 매식체의 중심부에서 매식체의 흡수가 관찰되었다. 이어 신생으로 형성되는 골의 양을 평가하기 위해 반대로 대조영상으로부터 각시간 경과상을 공제하였던 바(Fig. 3 middle) 3,4주째에 매식체의 변연부와 소구치부 원심측에서 정상골부의 소량(N) 증가양상을 나타내었다. 이를 발치 전과 비교하기 위해 각 시간경과 영상으로 부터

Table 1. r^2 values obtained from 10 times measurements at two types of Cu step wedge

9 steps	0.9996	0.9994	0.9994	0.9994	0.9991	0.9988	0.9986	0.9985	0.9983	0.9973
10 steps	0.9982	0.9984	0.9983	0.9770	0.9772	0.9921	0.9757	0.9770	0.9971	0.9973

Table 2. r-square, Cu-Equivalent values, SDs and average coefficients of variation under 60kVp and 0.20sec. (mm)

thickness		1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	
$r^2 = 0.9988$	average	var. coeff.	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.06	0.11	0.20
		Cu-Eq value	0.97	0.91	0.81	0.71	0.60	0.50	0.40	0.31	0.19	0.10
		SD	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02

Table 3. Cu-Equivalent values(mm) of longitudinal bone changes according to the areas (coeff. var.)

area \ time	after op.	1 week	2 weeks	3 weeks	4 weeks
total implant	0.457 ± 0.030	0.344 ± 0.027	0.225 ± 0.019	0.228 ± 0.020	0.279 ± 0.021
	(0.066)	(0.078)	(0.084)	(0.088)	(0.075)
premolar area	0.332 ± 0.026	0.283 ± 0.020	0.220 ± 0.019	0.304 ± 0.018	0.311 ± 0.018
	(0.079)	(0.070)	(0.086)	(0.060)	(0.059)

술전영상을 각각 공제한 영상(Fig. 3 lower)에서 4주째에 매식제변연부와 정상골일부(흰색부위)에서 반원형으로 약간의 골증식이 관찰되었다.

매식부 전체영역에서와 소구치 근단 원심부와 근단부에서의 시간경과에 따른 변화의 구리당량치는 표3과 같아 소구치근단 원심부에서 다소 골증식의 양상을 보인 공제술후 색상강화에 의한 평가와 일치하여 공제술후 색상강화평가법은 부위별로도 일치되는 소견을 보였다.

나) 연속영상의 재형성에 의한 골변화의 모식화

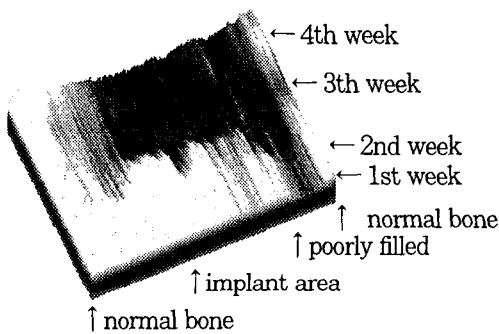


Fig. 4 Surface plot of longitudinal bone change according to the areas

슬부의 시간경과에 따른 골변화 평가를 일괄 평가하기 위해 각 증례의 시간경과에 따른 모든 구리당량영상을 중첩시켜 매식체의 중심부와 소구치근단부를 포함하는 관심영역부위(Fig. 2 수평점선)에서 한 영상위에 시간경과영상을 연속 구성하여 평가한 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 3주째에 매식체의 상당량이 흡수되고 4주째에 다시 골증식이 약간 관찰되며 소구치 근단부(오른쪽 정상골)에서도 3주째 약간의 흡수에 이어 4주째 회복되는 양상이 관찰되었다.

IV. 총괄 및 고안

1961년 Bender와 Seltzer²³⁾는 인체하악골을 대상으로 하여 실험골병소를 최초로 방사선학적으로 연구한 결과, 피질골에 1mm 이상의 깊

이로 병소부가 형성되지 않는 한 방사선사진에서 판독될 수 없었으며, 해면골에서는 해면골을 전부 제거하여도 방사선사진에서 이의 변화를 관찰할 수 없었다고 보고하였다. Schwartz와 Foster²⁴⁾는 실험적 골병소가 피질골을 천공시키지 않는 한 방사선사진에서 판독되지 않음을 보고하였으며, 1988년 김등²⁵⁾은 사체표본에 인위적 골병소를 치근단부에 형성한 실험에서 치아회분으로 그 주위에 치밀화골을 재형성한 실험에서 직경 2mm이상 크기의 병소에 주위 2mm이상 두께의 치밀화골이 형성된 경우와 해면골내의 직경 5mm이상 크기의 병소에 1mm두께의 치밀화골이 형성된 경우에 비로소 방사선사진에서 판독이 가능하였다고 보고하였다. 이와 같이 골병소에 대한 많은 연구에도 불구하고 해면골내의 골에 대한 방사선학적 판독에는 한계가 있음이 지적되었다.

이에 대조도가 증감되고 다양한 영상처리가 가능한 Digital Subtraction Radiography를 이용하여 치과적 처치후 골조직의 미세변화와 임상적으로 시술의 예후 및 치료후 경과를 평가하는데 편한 임상적평가방법을 검증하였다.

입력기에 대한 고찰

컴퓨터 보조의 영상 판독에서의 첫 단계는 방사선사진을 컴퓨터상에 저장할 수 있도록 변환시키는 것으로, CCD 카메라나 스캐너를 이용하여 기존의 방사선사진을 디지털화하는 방법과 intraoral direct imaging device를 사용하는 방법이 있는데²⁶⁾, 두 가지 방법 모두 컴퓨터를 이용하는 방법에는 차이가 없다. 또 다른 방법으로 densitometer를 이용하여 방사선사진을 디지털 포맷으로 변환했다는 보고도 있었다²⁸⁾. 방사선사진의 입력 장치로는 주로 CCD 카메라가 이용되었는데, Hildebolt 등²⁷⁾은 디지털 치과 방사선사진 영상시스템의 정량분석에서 슬라이드 스캐너를 이용한 시스템이 비디오 카메라를 이용한 시스템보다 우수하다고 보고했다.

대부분의 디지털 영상시스템은 IBM 호환기

종이 사용되었으나^{28,31)}, 일부 보고들^{27,32,33)}에서 매킨토시 컴퓨터를 이용했다는 보고도 있었다. 한편 김등²²⁾은 화상처리를 위해 컴퓨터로 NEC PC-9801을 이용하였고 화상처리에는 NEXUS QUBE 프로그램을 이용하였다. 또한, 애플 매킨토시 컴퓨터에서 이용되는 영상처리 프로그램들인 NIH image, Enhance, IP Lab and DIP Station 등을 치과 방사선사진의 디지털 분석에 적용한 결과 전반적으로 NIH image가 가장 적합한 것으로 판정되었으며, 이들 프로그램들은 치과 영상의 계조도와 공간적인 자료들의 조작 및 정량적인 분석이 가능하고 주관적인 질 (quality)을 개선시킬 수 있다고 보고되었다³³⁾.

구리당량영상평가

본 실험에서는 구리당량변환식은 결정계수가 평균 0.9988로서 신뢰도가 높았으며 구리당량치의 변동은 8%에서 10%의 범위에 들어 재현성이 높았고 변환식에 의해 연산된 매식혼합물 및 골조직의 구리당량측정치의 변동도 6%에서 9%의 범위내에 있어 우수한 재현성을 보였다. Robertson 등³⁴⁾은 피질골회분과 CT에 의해 측정된 피질골 측정치와의 $r = 0.97$, $p < 0.01$ 의 양성적 관계를 보였으며 峇下 등³⁵⁾은 알루미늄스텝웨지를 이용한 실험에서 표준편차는 두터위질수록 커지는 경향을 보였고 변동계수가 2mm 두께에서만 높았으며 나머지층에서는 거의 일정하여 평균 5.8%를 나타내었고 Cobelt 등³⁶⁾이 컴퓨터를 이용하여 알루미늄당량치를 측정할 경우는 변동계수는 약 4-6% 였다.

임상분석에 대한 고찰

공제술을 시행하여 3주째에 흡수와 신생골의 양상이 소구치근단부와 매식분말의 주변에서 관찰되었는데 이는 조직병리학적소견³⁷⁾에서 3주째에 기존골과의 변연부에서 골아세포의 활성이 활발하였고 기존골에서 형성된 신생골주에 매식분말과의 직접적인 골성유합이 나타났다는 보고와 일치하였다. 또한 기존골의 일부에서는 파골세포

에 의한 흡수소견이 부분적으로 관찰되었다는 보고가 있는데 이것도 양방향공제술을 행함으로써 이들이 3주째에 색상변화로 관찰되었고 4, 6주째에도 지속적인 매식혼합물의 흡수소견이 관찰되어 조직병리학적소견과 일치하는 소견을 보였다. 즉 양방향공제술에 의해 위치에 따른 신생골 형성 및 흡수지역이 확인 가능하였으며 그러한 신생골형성과 흡수가 함께 교차하는 매식체 변연부의 소견도 확인 가능하여 이러한 임상평가는 조직병리학적소견과도 거의 일치하는 수준으로 의의가 크다고 생각된다. 이들은 또한 정량적인 구리당량치에 의한 해당부위에서의 평가와도 일치하여 그 정성적평가의 가치를 인정할 수 있었다.

Surface plot은 여러단면을 연속상으로 재형성하여 역시 전체 결손부의 회복 및 흡수 소견의 관찰이 가능하였고 특히 주위정상골에서도 3주째에 흡수소견이 관찰된 것은 조직병리학적 소견과도 일치되는 소견이어서 이러한 두가지 임상평가 방법은 규격화된 방사선 사진을 채득하여 컴퓨터 상에서 전체 병소의 시간경과에 따른 변화를 입체적으로 규격화된 양상으로 간편히 관찰할 수 있는 가시화의 장점을 보여주었다.

현재 시판되고 있는 Digora의 경우 색상강화는 가능하나 단순색상강화만이 가능하며 대조도 보정이 모든 필름에 규격화할 수 있도록 구리당량화상작성에 대한 프로그램이 결여되어 있었다. 또한 공제술이 불가하여 본실험의 결과와 같이 NIH프로그램이 공제술에 의한 임상평가가 가능한 만큼 Digora는 그 분석프로그램의 보강이 필요하다고 생각되었다.

이들을 통하여 얻어진 결과는 치아회분계 생체재료를 다양한 경조직 결손부에 사용될시 시술의 경과를 쉽게 판독할 수 있게하고 그 회복양상을 연구할 수 있으므로 보다 나은 시술방법을 개발하는데도 도움이 될 수 있고 또한 비파괴검사의 응용에도 도움이 될 수 있다고 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 경조직 결손부에 대한 치아회분매식술을 시행한 후 미세골량변화의 평가 가능한 시기를 결정하고 골과괴 또는 회복의 골량 변화 및 전체 결손부의 회복되는 양상을 주기적으로 평가하여 집적(集積)하기 위해 공제술에 의해 변화부분만을 화상으로 얻어 색상강화하는 방법과 연속시간영상의 surface plot으로 모식화할 수 있는 임상적 평가방법을 검증하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구리당량변환식은 결정계수가 평균 0.9988로서 신뢰도가 높았으며 구리당량치의 변동은 8%에서 10%의 범위에 들어 재현성이 높았다.
2. 변환식에 의해 연산된 매식혼합물 및 골조직의 구리당량측정치의 변동도 6%에서 9%의 범위내에 있어 우수한 재현성을 보였다.
3. 양방향공제술후 색상강화평가에 의한 매주 골변화평가는 구리당량치평가와 일치하였다.
4. 연속화상의 surface plot은 골변화를 입체적으로 가시화하였다.

참고문헌

1. 김영균, 여환호. 치아회분말과 치과용 연석고의 혼합 매식술: 임상적 적용. 대한악안면성형재건외과학회지 1994;16:130-136.
2. Rawlings CE, Wilkinns RH, Hanker JS, et al. Evaluation in cats of a new material for cranioplasty : A composite of plaster of Paris and hydroxylapatite. J Neurosurg 1988; 69:269.
3. Beeson WH. Plaster of Paris as an alloplastic implant in the frontal sinus. Arch Otolaryngol 1981;107:664.
4. 윤창근, 조영학. 치아회분과 도재복합 매식체에 관한 광학현미경 및 주사전자현미경적 연구. 대한치과보철학회지 1984;22:33.
5. 윤창근, 호기영. 치아회분과 도재복합 매식체의 물

- 리적 성질 및 세포배양에 의한 조직친화성에 관한 연구. 대한치과보철학회지 1984;22:51.
6. Webber RL, Ruttimann UE, Gröndahl H-G. X-ray image subtraction as a bias for assessment of periodontal changes. J Periodont Res 1982; 17:509-511.
7. Gröndahl HG, Gröndahl K, Webber RL. A digital subtraction technique for dental radiography. Oral Surg.1983;55:96-102.
8. Okano T, Mera T, Ohki M, Ishikawa I, Yamada N. Digital subtraction of radiograph in evaluating alveolar bone changes after initial periodontal therapy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1990;69:258-262.
9. Gröndahl K, Gröndahl HG, Webber RL. Influence of variations in projection geometry on the detectability of periodontal bone loss: A comparison between subtraction radiography and conventional radiographic technique. J Clin Periodontol 1984;11:411-420.
10. Lurie AG, Greenberg RJ, Korman KS. Subtraction radiology demonstrates crestal bone loss in experimentally induced marginal periodontitis. Surg 1983;55:537-541.
11. Vos MH, Janssen PTM, Van Aken J, Heethaar RM. Periodontal bone changes by digital subtraction. J Periodont Res 1986; 21: 583-591.
12. Bragger D, Pasquali L, Rylander H, Carnes D, Kornman KS. Computer assisted densitometric image analysis in periodontal radiography. A methodological study. J Clin Periodontol, 1988;5:27-37.
13. Tyndall DA, Kapa, SF, Bagnell CP. Digital Subtraction Radiography for Detecting Cortical and Cancellous Bone Changes in the Periapical Region. J Endodontics 1990;16:173-178.
14. Christagu M, Wenzel A, Hiller K-A and Schmalz G. Quantitative digital subtraction radiography for assessment of bone density changes following periodontal guided tissue regeneration. Dentomaxillofac. Radiol.,

- 1996:25:25-33.
15. Webber RL, Ruttimann UE, and Heaven TJ. Calibration errors in digital subtraction radiography. *J. Periodont. Res.* 1990;25, 268-275.
 16. Janssen PTM and Van Aken J. Problems around the in vitro and in vivo application of quantitative digital subtraction radiography. *J. Clin. Periodontol.* 1992;16, 323-329.
 17. Wenzel A. and Sewerin I.B. Sources of noise in digital subtraction radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 1991;71, 503-508.
 18. Ohki M, Okano T, and Yamada N. A contrast-correction method for digital subtraction radiography. *J. Periodont. Res.* 1988;23,277-280.
 19. Duckworth JE and Judy PF. A method for the geometric and densitometric standardization of intraoral radiographs. *J. Periodontol.* 1982;54,435-440.
 20. 김현, 정현대. 모의 인접면 치아우식병소의 진단을 위한 구내 표준방사선사진과 그 디지털 영상의 비교. *치과방사선.* 1994;24, 279-289.
 21. Sun H, Ohki M, and Yamada N. Quantitative Evaluation of Bone repair of periapical Lesions Using Digital Subtraction Radiography Part2,Clinical Application. *Oral Radiol.* 1991;7,35-46.
 22. 김재덕, 최원재. 화상처리 분석장치를 이용한 골흡화도의 정량적 평가에 관한 연구. *치과방사선.* 1995;25(2),521-534.
 23. Bender IB and Seltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. *J.A.D.A.* 1961; 62,152-160.
 24. Schwartz SF and Foster JD. Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions, Part I. *Oral Surg.*, 1971;32:606-612.
 25. 김재덕, 김영진. 실험적 치조백선 병소부에 관한 방사선학적 연구, *구강생물학회지* 1988;12:89-101.
 26. Van der Stelt PF. Computer-assisted interpretation in radiographic diagnosis. *Dental Clinics of North America*, 1993; 37:683-696.
 27. Hildebolt CF, Vanier MW, Pilgram TK and Shroul MK. Quantitative evaluation of digital dental radiograph imaging systems. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1990; 70:661-668.
 28. Fujita M, Kodera Y, Ogawa M, Wada T and Doi K. Digital image processing of periapical radiographs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1988;65:490-494.
 29. Reddy MS, Bruch JM, Jeffcoat MK and Williams RC. Contrast enhancement as an aid to interpretation in digital subtraction radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1991;71:763-769.
 30. Nummikoski PV, Martinez TS, Matteson SR, McDavid WD and Dove SB. Digital subtraction radiography in artificial recurrent caries detection. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 1992;21:59-64.
 31. McHenry K, Hausmann E, Wikesjö U, Dunford R, Lyon-Bottenfield E and Christersson L. Methodological aspects and quantitative adjuncts to computerized subtraction radiography. *J. Periodont. Res.*, 1987;22:125-132.
 32. Hildebolt CF, Vannier MW, Gravier MJ, Shroul MK, Knapp RH, and Walkup RK. Technical Report Digital dental image processing of alveolar bone: Macintosh II personal computer software. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 1992;21:162-169.
 33. 조형희, 김은경. 방사선사진용 디지털 영상시스템의 정량적 평가에 관한 실험적 연구, *치과방사선.* 1994;24:137-148.
 34. Robertson DD and Huang HK. Quantitative bone measurements using x-ray computed tomography with second-order correction. *Med. Phys.*, 1986;13:474-479, .
 35. 岩下洋一朗, 森田康彦, 野井倉武憲. 口内法X線寫眞のAI量畫像. *齒放*, 1989;29:289-294.
 36. Cobelt C, Mazess RB and Schmidt PB.

Bone mineral determination in vitro by radiographic photon absorptiometry. Investigative Radiology, 1970;5:336-340.

37. 김영균, 여환호, 조재오. 백서에서 치아회분말과 치과용 연석고의 혼합매식술에 관한 실험적 연구: 혼합비율에 따른 비교. 대한악안면성형재건외과학회지, 1996;18:26-32.

Address : Prof. Jae-Duk Kim, Dept. of D.M.F-radiology, School of Dentistry, Chosun University, Kwangju, KOREA

Tel : (062) 220-3608 Fax : (062) 227-0270

E-mail : JDAKIM@mail.chosun.ac.kr

사진부도 설명

Fig. 1 XCP apparatus(X) with individualized bite block(B) and copper step wedge(C)

Fig. 2 Resliced area(a) and surface plot of contiguous image of longitudinal bone changes a: area t: time

Fig. 3 Bidirectionally subtracted images A: absorbed N: newly formed

사진부도

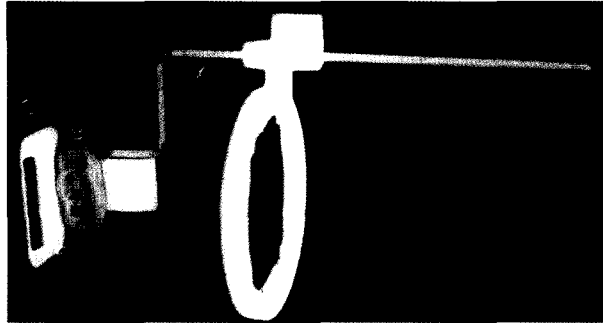


Fig 1

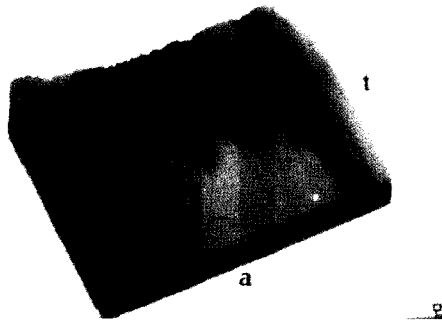
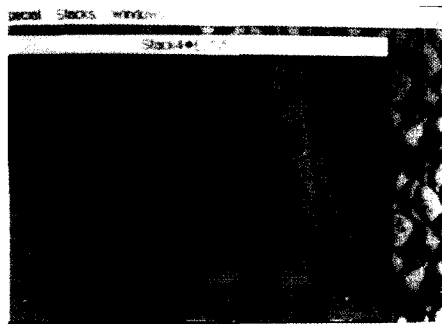


Fig 2

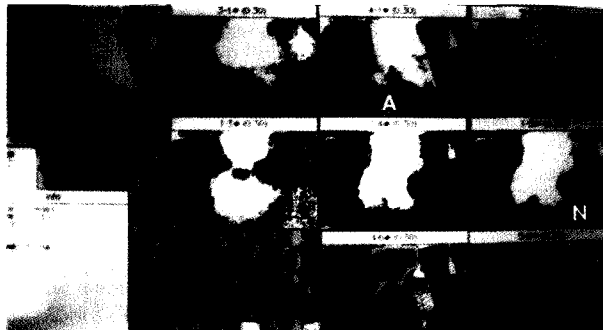


Fig 3