

임플란트 주위염 치료 효과의 프랙탈 분석

조선대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과학교실
*조선대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실
김학균 · 김진수*

Fractal analysis of the surgical treatment of ligature-induced peri-implantitis in dogs

Hak-Kun Kim, Jin-Soo Kim*

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Chosun University
*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Chosun University

ABSTRACT

Purpose : To evaluate the effect of surgical treatment of ligature-induced peri-implantitis in dogs using fractal analysis. Also, the capabilities of fractal analysis as bone analysis techniques were compared with those of histomorphometric analysis.

Materials and Methods : A total of 24 implants were inserted in 6 dogs. After a 3-months, experimental peri-implantitis characterized by a bone loss of about 3 mm was established by inducing with wires. Surgical treatment involving flap procedure, debridement of implants surface with chlorhexidine and saline (group 1), guided bone regeneration (GBR) with absorbable collagen membrane and mineralized bone graft (group 2), and CO₂ laser application with GBR (group 3) were performed. After animals were sacrificed in 8 and 16 weeks respectively, bone sections including implants were made. Fractal dimensions were calculated by box-counting method on the skeletonized images, made from each region of interest, including five screws at medial and distal aspects of implant, were selected.

Results : Statistically significant differences in the fractal dimensions between the group 1 (0.9340±0.0126) and group 3 (0.9783±0.0118) at 16 weeks were found (P<0.05). The fractal dimension was statistically significant different between 8 (0.9395±0.0283) and 16 weeks in group 3 (P<0.05). These results were similar with the result of the evaluation of new bone formation in histomorphometric analysis.

Conclusion : Treatment of experimental peri-implantitis by using CO₂ laser with GBR is more useful than other treatments in the formation of new bone and also the tendency of fractal dimension to increase relative to healing time may be a useful means of evaluating. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2010; 40 : 123-9)

KEY WORDS : Fractals; Dental Implants; Lasers; Infection Control, Dental

서론

프랙탈은 임의의 한 부분의 기하학적 구조가 전체의 모습을 나타내는 자기 유사성 (self-similarity)을 갖는 형상을 일컫는 용어로 1977년 Mandelbrot에 의하여 개념이 정립되었으나 이와 같은 형상들에 관한 추상적 논의는 훨씬 이전부터 있었다.¹ Mandelbrot²는 ‘broken’이라는 뜻의 라틴 형

용사인 ‘fractus’에서 ‘fractal’이란 용어를 만들어냈다. 프랙탈 기하학은 구조물의 형태가 균일하고 규칙적이지 않더라도 구조물들을 기하학적으로 정량화하여 특성을 표현할 수 있으며,³ 프랙탈 분석은 구조물의 정량화에 도움이 될 수 있는 수학적 방법이다.⁴

골밀도와 골소주 방향의 변화는 비선형적이고 무질서하다. 그러나 골소주도 프랙탈 구조의 특성인 자기 유사성을 가지고 있다.⁵ 그러므로 Shroot 등⁶은 치조골의 해면질골 부분은 수학적 프랙탈 패턴을 적용할 수 있도록 하는 하부 구조의 기하학적 규칙성을 갖는 상호 연결된 골소주 기둥으로 구성되어 있다는 가정에서, 프랙탈 기하학을 사용하여 골소주의 특징을 나타내고 골질을 측정할 수 있다고 하

*This study was supported by research funds from Chosun University, 2008.
접수일 (2010년 7월 16일), 수정일 (2010년 8월 20일), 채택일 (2010년 8월 29일)
Correspondence to : Prof. Jin-Soo Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Chosun University, 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju 501-759, Korea
Tel) 82-62-220-3886, Fax) 82-62-227-0270, E-mail) hids@chosun.ac.kr

였다. 프랙탈 분석으로 방사선사진에서 골소주의 구조를 평가하여 골소주의 복잡성을 측정할 수 있고,⁷ 방사선사진의 프랙탈 차원(fractal dimension)이 골밀도 변화와 관련된다는 연구도 있었다.^{8,9} 또한, 프랙탈 분석은 골 구조를 민감하게 표현할 수 있고 골소주의 구조를 객관적으로 표현하는 진단 방법이 될 수 있다고 여겨진다.^{6,8}

프랙탈 차원을 계산하면 방사선사진의 흑화도, 조사각도, 골소주의 배열 등에 영향을 거의 받지 않으면서도⁹⁻¹¹ 골개조, 골재생 및 골소실을 비침습적으로 측정할 수 있다.¹² 골 표본을 이용한 연구결과는 프랙탈 차원이 생물 기계적 강도와 통계학적으로 상관관계가 있음을 보여주었고,¹³ 실제 임상 연구결과에서도 건강한 골이 재생된 골에 비해 프랙탈 차원이 더 크게 나타났다.¹⁴ 건강한 골이 재생된 골에 비해 프랙탈 차원이 크다는 사실은 새로 형성된 해면질골 구조가 더 치밀해졌다는 것을 나타낸다.¹⁵ 방사선사진의 프랙탈 분석은 정상군과 골다공증군을 구별해주는데 응용되기도 하였고,^{16,17} 치주질환¹⁸과 임플란트¹⁹ 등과 같은 치의학 분야에서도 이용되었다.

임플란트가 많이 시술되면서 이에 따른 합병증도 증가하게 되었는데, 임플란트 식립 후에 발생할 수 있는 합병증 중의 하나가 임플란트 주위염이다. 임플란트 주위염이란 성공적으로 골유착이 이루어진 후에 임플란트 주변 골 소실이 발생하여 진행되는 것을 말하는데, 구강위생 관리만으로도 치료가 되는 경우가 있는가 하면 지속적인 임플란트 주변 골의 소실로 인해 임플란트의 상실까지 야기되는 경우도 있다.²⁰

임플란트 주위염을 치료하기 위해서는 우선 임플란트 주위 조직의 염증을 제거하고 염증의 진행을 차단하여 임플란트 주위 조직을 건강한 상태로 회복시킨 후 골이 소실된 부위에 골을 재생시켜 임플란트와 신생골 사이에 재 골유착이 일어나도록 해야 한다. 임플란트 주위염의 치료를 위한 첫 번째 단계는 칫솔질이나 클로로헥시딘을 이용한 구강 위생 관리이다. 두 번째 단계는 외과적 치료로 주변 골이 소실된 임플란트 표면에 부착되어 있는 세균과 그 부산물들, 치석이나 연조직들을 제거하여 재 골유착이 일어날 수 있는 환경을 만들어주는 것이다.²¹

최근 다양한 종류의 레이저가 치과 분야에서 사용되는데, 임플란트 수술 시 혹은 오염된 임플란트 나사산의 표면 처치를 위해 사용되기도 한다.^{22,23} CO₂ 레이저는 금속에 흡수되지 않고 물에는 흡수되어 온열 효과에 의해 임플란트 표면의 세균과 그 부산물들을 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다.²⁴

프랙탈 분석을 이용한 다양한 연구들이 있지만, 임플란트 주위염이 발생하였을 때 외과적 치료에 따른 골 변화를 방사선학적 변화를 정량적으로 평가한 연구는 드물다. 본 연구는 성견에서 인위적으로 유도한 임플란트 주위염의 외과적 치료 방법으로 골유도 재생술, CO₂ 레이저의 조

사 및 골유도재생술이 임플란트 주변 신생골 형성에 미치는 효과를 디지털 영상의 프랙탈 분석을 이용하여 평가하고, 프랙탈 분석 결과를 조직형태계측학적 분석 결과와 비교하여 프랙탈 분석의 유용성을 평가하고자 시행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

1) 실험동물

각각 다른 우리에서 실험 전 2주 동안 동일한 조건으로 사육한 생후 8개월 된 12kg 내외의 잡종 성견 6마리를 암수 구분 없이 실험에 이용하였다.

2) 실험재료

직경 3.3 mm, 길이 10 mm, 나사산 거리 0.6 mm의 SLA (sand-blasted with large grit and acid etching) 방식으로 표면 처리한 임플란트(NeoPlant, Seoul, Korea) 24개와 이종골 이식체인 Bio-Oss (Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Switzerland), 흡수성 차단막인 Bio-Gide (Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Switzerland)를 사용하였다.

3) CO₂ 레이저

CO₂ 레이저는 0.5 W에서 5 W까지 출력을 내며 10.6 μm의 파장을 갖는 Opelaser O3SIISP (Yoshida Dental Mfg Co., Tokyo, Japan)를 사용하였다.

2. 실험방법

1) 수술

실험동물들은 Ketalar (Yuhan, Seoul, Korea) 150 mg/kg과 Rompun (Bayer, Seoul, Korea) 150 mg/kg을 근육 주사하여 전신마취를 시행하였다.

실험동물에서 양측 하악 제2, 3, 4소구치 및 제1대구치를 발치하고 술 후 감염방지를 위해서 Gentacin (Kuhnil, Seoul, Korea) 1.0 mg/kg을 하루 1회씩 5일간 근육 주사하였다. 12주 동안 발치와가 치유되고 골이 재생되기를 기다렸다가 실험동물 당 4개씩, 총 24개의 임플란트를 submerged 방식으로 식립하였다. 12주의 골 유착 기간이 경과한 후 cover screw를 노출시켜서 철사를 감아 인공적으로 임플란트 주위염을 유발시켰다. 8주간 방치한 후 방사선사진 검사에서 임플란트 상부 나사산 5개 정도의 골 소실을 관찰할 수 있었다. 철사를 제거하고 2주간 일주일에 3회씩 칫솔질과 Chlorhexine (Daewoong, Seoul, Korea) 용액을 이용한 세척을 시행하여 임상적인 임플란트 주위염 소견을 감소시켰다.

전신마취 하에서 전층 판막을 거상하여 테플론 큐렛으로 조심스럽게 임플란트 주위의 육아조직을 모두 제거하였으며 생리식염수로 적신 거즈와 Chlorhexine으로 적신 거즈를 이용해 번갈아가며 5분간 임플란트 표면을 세척한 후, 1군은 Blue Nylon (Ailee, Pusan, Korea)을 이용하여 바로

Table 1. Study design

Group	Treatments	8 weeks (n)	16 weeks (n)
1	Debridement	4	4
2	Debridement+GBR	4	4
3	Debridement+CO ₂ Laser+GBR	4	4

n: number of implants. Debridement: Flap operation and irrigation with chlorhexine and saline. GBR: Guided bone regeneration.

점막을 봉합하였고, 2군은 Bio-Oss와 Bio-Gide를 사용하여 골유도재생술을 시행한 다음 봉합하였으며, 3군은 CO₂ 레이저 (continuous wave, 2.5 W)를 노출된 임플란트 나사산에 비접촉식으로 고루 조사한 후 2군과 동일한 방법으로 골유도재생술을 시행하고 봉합하였다. 노출된 나사산을 4부위로 나누어 5초간 각각 3회씩, 총 12회에 걸쳐 레이저를 조사하였는데, 한 부위에 조사하고 나서 1초간 휴식한 다음 다른 부위에 조사하였다 (Table 1). 모든 임플란트와 골이식재 및 흡수성 차단막은 치은으로 완전히 덮였다. 술 후 감염방지를 위해서 Foxolin (Samjin, Seoul, Korea) 500 mg을 하루 1회 7일간 근육 주사하였고, 수술 후 2주간 일주일에 3회씩 Chlorhexine과 생리식염수를 이용한 소독 및 세척을 시행하였다.

임플란트 주위염을 외과적으로 치료한 지 8주와 16주째에 각각 3마리씩 희생시켰다. 희생된 실험동물에서 하악골 부위를 분리한 후 임플란트 장축에 평행하게 인접 연조직을 포함하여 각각의 절편을 절단하였다. 채취된 24개의 연조직-골-임플란트 절편을 70% 에탄올에 6시간 고정하였다.

2) 방사선사진 촬영

제작된 절편은 CCD 방식의 직접 디지털 영상기구인 RVG Ultimate (Trophy Radiologie, Vincennes, France) 시스템과 65 kVp, 7.5 mA로 고정된 Dens-O-Mat 구내촬영기 (Oralix AC, Gendex, Milano, Italy)를 사용하여 0.1초의 노출시간으로 디지털 방사선사진을 촬영하였다. 촬영된 디지털 방사선사진들은 Kodak dental imaging software (Kodak Dental Systems, New York, USA)에서 JPEG 파일로 변환시켜 저장하였다.

3) 영상처리 및 프랙탈 차원 계산

프랙탈 차원을 계산하기 위한 모든 영상의 처리와 분석은 ImageJ 1.37v 프로그램 (Wayne Rasband, <http://rsb.info.nih.gov/ij>)을 이용하였다. 임플란트의 근원심 면에서 임플란트 주위염을 유발시켰던 상부에서부터 나사 다섯 개를 포함하도록 각각 20×150 픽셀 크기의 관심영역을 5개씩 선택하여 240개의 파일로 저장하였다 (Fig. 1). 저장된 관심영역 영상을 프랙탈 분석을 위한 골격화 영상으로 전환하기 위해 White와 Rudolph에 의해 고안된 방법¹⁷에 따라 다음과 같이 처리하였다. 각각의 관심영역들을 가우시안 필터 (Gaussian filter, sigma=35 pixel)를 적용시켜 미세하거나 중간규

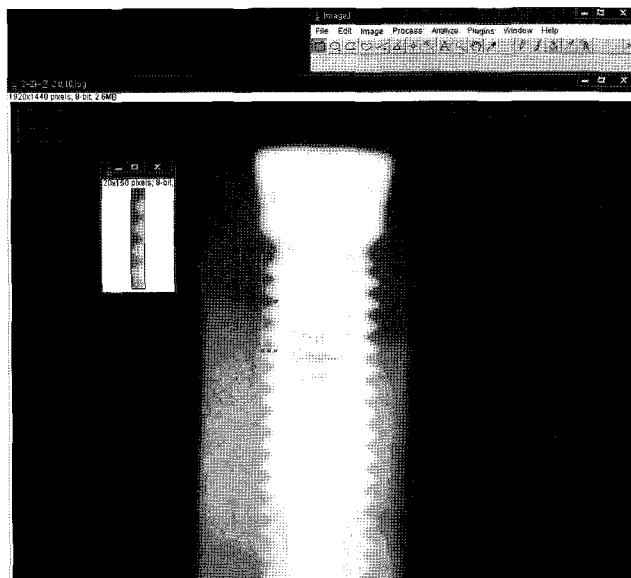


Fig. 1. Region of Interest was selected by using ImageJ.

모의 구조를 제거하고 흑화도의 차이가 큰 구조만 남도록 blurring시켰다. 그리고 이 blurred image를 원래의 영상에서 공제하여 128을 가산하였다. 이것은 영상의 초기 농도에 상관없이 평균 128 값을 갖는 영상을 만들어 골소주와 골수강 같은 영상에서 개별 변이를 반영하기 위한 것이다. 이 영상을 이원영상 (binary image)으로 만들어 일반적으로 골소주는 검게, 골수강은 하얗게 만들어준다. 그 후 이원영상을 한번씩 erosion과 dilation시켜 noise를 감소시켜 준 후 골격화 영상 (skeletonized image)으로 전환하였다 (Fig. 2A-G).

영상처리를 통하여 얻어진 240개의 골격화 영상에서 box-counting method로 프랙탈 차원을 계산하여 각 임플란트별로 평균값을 구하였다.

4) 조직형태계측학적 분석

제작된 절편은 디지털 방사선영상 획득 후 Spurr (Polyscience, Niles, USA)에 포매하였고, 60°C에서 12시간 동안 경화시킨 후 저속의 diamond saw (Isomet, Buehler, Lake Bluff, USA)를 이용하여 임플란트 중심부가 포함되도록 악골의 협설 방향으로 200 μm 두께로 절단하였다. Metaserv (Buehler, Lake Bluff, USA)를 이용하여 연마기로 두께 40 μm의 표본을 제작하여 Villanueva osteochrome stain을 하였다.

제작된 표본은 MagnaFire digital camera system (Optronics, Goleta, USA)을 이용하여 사진을 촬영한 다음 Visus Image Analysis System (Image & Microscope Technology, Daejeon, Korea)을 이용하여 임플란트 주위염에 의해 골 소실이 야기된 상부 5개 협측 및 설측 나사산 부위의 신생골 형성을 측정하였다. 이는 임플란트 표면과 골의 접촉 여부와는 상관없이 임플란트 나사산 사이 공간에 존재하는 골의 면적을 나사산 사이 공간의 총 면적으로 나누어 백분율로

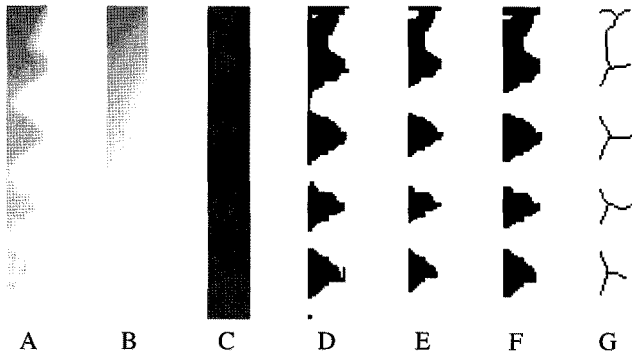


Fig. 2. The images acquired during the procedure. A. The region of interest. B. The blurred image. C. The 128 added image after subtracted. D. The binary image. E. The eroded image. F. The dilated image. G. The skeletonized image.

표시한 것이다.

5) 통계분석

각 실험 군에 대한 프랙탈 차원 및 신생골 형성율의 비교는 one-way ANOVA를 사용하였고 Tukey의 다중비교 방법으로 사후분석을 하였다. 또한 치료 방법의 시간에 따른 프랙탈 차원 및 신생골 형성율의 비교는 Student's t-test를 사용하였으며, 유의수준 5% 이하를 유의한 차가 있는 것으로 간주하였다. 모든 통계 과정은 SPSS 12.0.1 for windows (SPSS Inc., Chicago, USA) 프로그램을 이용하였다.

결 과

1. 프랙탈 분석 결과

임플란트 주변의 평균 프랙탈 차원은 시간의 경과에 따라 증가하는 것을 보였다 (Table 2). 외과적 치료 방법에 따른 프랙탈 차원은 8주째에서는 각 군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 없었으나, 16주째에서는 3군의 프랙탈 차원이 1군에 비해 높았다 ($P < 0.05$). 시간 경과에 따른 프랙탈 차원의 변화는 1군과 2군은 8주와 16주에서 통계학적으로 유의한 차이가 없었으나, 3군에서는 16주째의 프랙탈 차원이 8주째에 비해 높았다 ($P < 0.05$).

2. 조직형태계측학적 분석 결과

조직형태계측학적으로 분석한 상부 5개 나사산 부위의 평균 신생골 형성율은 Table 3에서 보인다. 외과적 치료 방법에 따른 평균 신생골 형성율은 8주째에서는 각 군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 없었고, 16주째에서 3군이 1군에 비해 높았다 ($P < 0.05$). 시간 경과에 따른 신생골 형성율은 1군과 2군은 8주째와 16주째 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 없었으나 3군에서는 16주째가 8주째에 비해

Table 2. Mean fractal dimensions of each surface of implants

Groups	Mean fractal dimensions	
	8 weeks	16 weeks
1	0.9185 ± 0.0175	0.9340 ± 0.0126 †
2	0.9271 ± 0.0258	0.9540 ± 0.0153
3*	0.9395 ± 0.0283	0.9783 ± 0.0118 †

Values are mean ± SD.

* $P < 0.05$ by Student t-test

† $P < 0.05$ by one-way ANOVA and tukey's Post Hoc Tests

Table 3. Mean new bone formation rate in the five coronal threads (unit: %)

Groups	Mean new bone formation rate	
	8 weeks	16 weeks
1	28.74 ± 31.77	31.63 ± 15.32 †
2	36.50 ± 10.98	57.38 ± 33.04
3*	34.25 ± 10.38	80.88 ± 07.72 †

Values are mean ± SD.

* $P < 0.05$ by Student t-test

† $P < 0.05$ by one-way ANOVA and tukey's Post Hoc Tests

높았다 ($P < 0.05$).

고 찰

골 구조를 평가하기 위한 다양한 임상적 방법들이 있다. 골의 미세구조는 일반적으로 조직형태학적으로 평가되고 있으나, 장기적인 연구에는 부적합한 침습적인 골 생검으로 평가해야하는 단점이 있다.²⁵ 일반 방사선사진은 골 조직을 평가하는 데 빠르고, 비침습적이고 유용하면서 저렴한 방법이지만, 30% 이상의 무기질 소실이 있어야 흑화도 차이를 나타내는 문제점이 있다.²⁶ 골 구조 평가를 위해 광학 밀도(optical density)나 방사선사진을 통과하는 투과율(level of light transmittance)을 측정하는 X선미량밀도측정(microdensitometry)은 민감도가 떨어지는 측정법으로 방사선 기기의 조작에 따라 현저한 차이를 나타낸다.²⁷ 디지털 영상공제술(digital subtraction radiography)은 시간 경과에 따라 촬영된 방사선사진을 중첩시켜 흑화도의 상대적 변화를 측정할 수 있으나, 일련의 방사선사진을 동일하게 촬영하는 특별한 장치가 필요하고 상대적인 변화만을 감지할 수 있다.²⁸ 낮은 선량의 방사선을 골에 직접 조사시켜 통과하는 양을 측정하여 밀도를 계산하는 방법으로 흡수계측법(absorptiometry)이 있다.²⁹ 그러나, 골밀도를 측정하는 이 방법은 후향적으로 사용할 수 없고, 공제술처럼 밀도의 상대적 변화만을 감지할 수 있다.

치의학 분야에서 프랙탈 분석은 방사선사진과 영상 분석 방법을 이용하여 골 변화를 측정하기 위해 이용되어 왔

다. Geraets 등³⁰은 프랙탈 분석이 객관적으로 골 구조를 특성화하여 치조골 변화를 나타내는 믿을 만한 분석법이라고 했다. 프랙탈 분석을 이용하여 치주질환에 이환된 경우나 임플란트 식립 후 치조골의 변화를 평가한 연구 등이 있었으며^{16,17,31} 또한, 치근단 병소 치유과정의 골 변화, 악교정 수술 후 골 변화 등을 평가하는 데 이용하기도 했다.^{14,32} 본 연구는 임플란트 주위염의 외과적 치료 후 골 변화에 대해 프랙탈 분석을 이용하여 정량적인 평가를 하여 이 결과를 조직형태계측학적 분석 결과와 비교하고자 하였다.

프랙탈 분석 방법으로는 분할된 영상을 이용한 Caliper method, Tile Counting method, Pixel Dilation method가 있으며, 영상을 3차원 표면으로 간주하는 Box Counting method, Intensity Variance method, Hurst method, Variation method, Blanket method가 있으며, 이 외에도 Spatial and spectral method, Power Spectrum method 등 많은 방법들이 있다.³⁰ 위의 모든 방법들이 나름대로의 연관성은 있지만 방법에 따라 척도가 되는 변수의 정의와 측정되는 값이 다르기 때문에 측정되는 영상의 프랙탈 차원은 차이를 보이게 된다.³³ 영상이나 사물이 이상적인 프랙탈 표면 성질을 가질 때에만 같은 결과를 나타내지만, 디지털화된 픽셀의 이진 정보를 대상으로 할 때는 서로 상이한 수치를 나타낸다. 즉 대상이 어떤 종류의 프랙탈 구조인가에 따라 그에 적합한 분석 방법이 달라지는 것이다. 일반적으로 골소주의 프랙탈 분석을 위해서 box counting method가 이용되었는데,^{1,30,34} 이 방법은 영상을 점진적으로 거칠게 하는데 달려있다. 본 연구에서도 box counting method를 이용하여 임플란트 주위에서 골소주의 프랙탈 차원을 평가하였지만 프랙탈 분석 방법에 따른 차이를 연구하는 것도 필요하다고 여겨진다.

프랙탈 분석이 치조골 변화를 나타낼 수 있는 분석법으로 여겨지기는 하지만 많은 논란이 있는 것이 사실이다. 방사선사진의 종류에 따라 프랙탈 차원을 비교한 연구들이 있었다. 치근단 방사선사진과 파노라마 방사선사진에서 프랙탈 분석을 시행한 연구³⁵에서 파노라마 방사선사진에서 측정된 프랙탈 차원이 치근단 방사선사진에서 보다 낮았다고 하였다. 일반방사선사진과 TACT (tuned aperture computed tomography) 사진을 이용한 하악골 결합부위의 골치유 평가에서 TACT사진이 일반사진보다 프랙탈 차원이 높았다고 하였다.³⁶ 디지털화된 필름과 CCD (Charge Coupled Device) 센서로 촬영된 영상을 비교한 연구³⁷에서는 디지털화된 필름에서 통계학적으로 유의성 있게 더 높았다고 하면서 프랙탈 차원은 영상기록매체의 종류에 따라서도 통계학적으로 유의성 있게 영향을 받을 정도라고 하였다. 이러한 차이는 프랙탈 차원의 차이를 보여주지만 현재까지 표본에 대한 프랙탈 차원이 정해진 것이 없기 때문에 방사선사진의 종류에 관계없이 프랙탈 분석이 가능하다는 것을 의미한다. 본 실험에서는 디지털 영상의 제작이 용이한 치

근단 방사선사진용 디지털 센서를 이용하여 방사선영상을 획득하여 프랙탈 분석을 시행하였다.

또한, 방사선사진을 촬영할 때와 영상 처리를 하는 과정에서 여러 요인들이 영상 정보에 영향을 미칠 수 있고 측정되는 프랙탈 차원에도 영향을 미치게 되는데, 이를 밝히기 위한 다수의 연구가 있었다. 일반적으로 알려진 바로는 방사선사진을 촬영할 때의 조사각도는 프랙탈 차원에 영향을 미치지 않는다고 하였으나,^{9,12,13,17,38} 프랙탈 차원이 방사선 노출량이나 적은 양의 조사각도 변화,^{11,39,40} 관심영역의 크기와 형태,^{40,41} 해상도^{11,42} 등의 영향을 받는다는 연구 결과도 있었다. 이는 노출 시간과 해상도가 프랙탈 차원에 영향을 미칠 때 서로 간에 상호작용이 존재하는 것으로 보이며, 노출 정도가 적거나 많은 경우 양자 노이즈와 디지털화 노이즈에 의해 프랙탈 차원이 변할 수 있다고 여겨진다. 이처럼 상기의 연구들은 프랙탈 차원 값은 정해진 것이 아니지만⁴³ 탈회나 염증조건이 있는 골 부위의 프랙탈 차원은 정상 부위와 차이가 있으며 골밀도가 클수록 프랙탈 차원이 증가한다는 것을 보여주고 있다. 이러한 차이들은 영상 획득 과정 중의 변수, 관심영역의 설정, 프랙탈 차원을 구하는 방법, 노이즈의 문제 등에 대해 아직은 명백한 기준을 가지고 있지 못하더라도 영상의 프랙탈 분석은 비침습적이고 저렴한 골 구조 분석법으로 여겨진다.

임플란트 주위염의 가장 이상적인 치료는 임플란트 주위 조직의 염증을 제거하고 염증의 진행을 차단하여 다시 건강한 상태로 회복시키고 골이 소실된 부위에 다시 골유착이 일어나도록 하는 것이다. 일반적으로 임플란트 주위염의 치료방법은 보존적인 치료와 외과적인 치료로 나눌 수 있는데, 임플란트 주위염 초기에는 구강위생 관리와 전신적 항생제 투여 등의 보존적인 방법만으로도 치료가 되는 경우가 많지만 염증이 소실되지 않고 골 흡수가 지속되면 외과적 치료를 고려해야만 한다. 외과적인 치료 방법으로서 표면 처치와 골유도재생술 등이 많이 이용된다.⁴⁴

임플란트 주위염을 유발하기 위해 가장 많이 사용되는 방법은 임플란트 상부에 철사를 감아놓는 방법이다.^{44,47} 이 방법은 임플란트 표면처리 방식에 관계없이 2개월이 지나면 평균 2.38 ± 0.72 mm의 골 소실이 유발된다고 하였다.²¹ 본 연구에서도 임플란트 상부에 나사를 감아 염증을 유발시켰고 8주 동안 방치한 결과 평균적으로 약 3 mm의 골 소실이 발생해 임플란트 상부 나사산 5개가 노출되었다.

임플란트 주위염 치료를 위한 여러 실험적 연구에서 치태의 물리적 세척 방법으로는 칫솔질^{48,49}이나 치면세마제를 이용한 세척^{50,51} 등의 구강위생 관리 방법이 사용되었고, 전신적으로 투여되는 항생제는 페니실린이나 메트로니다졸이 5-14일간 단독 혹은 병용 투여된 바 있으며^{49,52} 구강내 소독제로는 0.12% 클로렉시딘이 주로 이용되었다.⁵¹ 또한 임플란트 표면 처치 방법으로는 air-powder abrasive를

이용한 세척,⁵⁰ air-powder abrasive와 citric acid의 병용 요법,⁴⁵ 클로헥시딘과 생리식염수를 이용한 표면 세척 등이 사용되었다.⁴⁷ 재골유착을 위한 골유도재생술에는 여러 종류의 골이식재와 더불어 흡수성 혹은 비흡수성 차단막이 사용되어 비교 연구된 바 있다.^{47,50,51}

외과적 치료방법인 골유도재생술의 경우 사용되는 골이식 재료와 차단막의 종류 등에 따라 다양한 결과들이 보고되었다.⁵³ 골유도재생술을 시행한 경우가 치은판막수술만 시행하거나 치은판막수술과 더불어 골이식만, 혹은 차단막만 사용한 경우에 비해 임플란트 주위 신생골 형성이 우수하였다고 했으나,^{51,54} 다른 연구⁴⁶에서는 유의한 차이를 얻지 못했다고 했다. 흡수성 차단막과 비흡수성 차단막을 이용한 연구에서 임플란트 주변의 신생골 형성율은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다고 하였다.^{47,55} 본 연구에서 표면 세척만 시행한 경우와 골유도재생술을 시행한 경우에 신생골 형성율은 프랙탈 분석이나 조직형태계측학적 분석에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

CO₂ 레이저는 1964년 Patel 등에 의해 처음 개발되었는데 초기에는 그 크기가 매우 커서 구강 내에서는 사용하기 곤란하였다.⁵⁶ 그 후 구부러질 수 있는 도파관(waveguide)이 개발되어 구강 내 사용이 용이해져서 현재 치과영역에서 다양하게 사용되고 있다. Nd:YAG (neodymium:yttrium-aluminum-garnet) 레이저는 임플란트 표면 손상을 야기하여 임플란트 2차 수술이나 임플란트 표면 처치를 위해서 사용될 수 없는 반면,^{22,23} CO₂ 레이저의 에너지는 금속에 흡수되지 않고 물에 흡수되어 열에너지로 전환되는데 이 열에너지에 의해 임플란트 표면의 세균을 제거한다.^{23,24} 최근 연구들^{57,58}에서 출력 5W에서는 노출 시간이 10초 이하이면 임플란트 표면에 열손상이 없으며, 2.5W, 노출 시간 5초간 12회 조사한 경우에 살균 효과는 있으면서 임플란트 표면과 주변 골에 열손상을 주지 않는다고 하였다. 본 연구에서도 노출된 임플란트 나사산에 CO₂ 레이저로 출력 2.5W, 5초간 12회 비접촉식으로 고루 조사하였다. 본 연구에서 CO₂ 레이저로 표면 처치를 한 후 골유도재생술을 시행한 3군은 골유도재생술만 시행한 2군과는 프랙탈 차원이 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 표면 처치만 시행한 1군에 비해 16주째에서 프랙탈 차원이 높았다. 그리고 3군에서만 8주째에 비해 16주째에서 프랙탈 차원이 더 높았다 ($P < 0.05$). 이러한 결과는 조직형태계측학적 분석 결과와 비슷하였다.

본 연구에서 프랙탈 분석을 통해 골 변화의 정도를 평가할 수 있었으며, 조직형태계측학적 분석과 비교하여 비슷한 결과를 보였다. 하지만 8주에서 프랙탈 분석과 조직형태계측학적 분석에서 약간 다른 변화를 보인 점은 보다 많은 표본들에서 평가하는 것이 필요하며, 동일 표본을 시간 경과에 따라 방사선사진을 촬영하여 프랙탈 분석을 시행한 연구가 필요하겠다. 이러한 점에서 프랙탈 분석은 골

을 손상시키지 않고 미세한 골 변화를 정량적으로 보여줄 수 있는 유용한 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Russ JC. Fractal Surfaces. 1st ed. New York: Plenum Press; 1994.
2. Mandelbrot BB. The fractal geometry of nature. New York: W.H. Freeman; 1983.
3. Weibel ER. Fractal geometry: a design principle for living organisms. Am J Physiol 1991; 261 : L361-9.
4. Peitgen HO, Jurgens H, Saupe D. Chaos and fractals: new frontiers of science. New York: Springer-Verlag; 1992.
5. Weinans H, Huiskes R, Grootenboer HJ. The behaviour of adaptive bone-remodelling simulation models. J Biomech 1992; 25 : 1425-41.
6. Shroot MK, Roberson B, Potter BJ, Mailhot JM, Hildebolt CF. A comparison of 2 patient populations using fractal analysis. J Periodontol 1998; 69 : 9-13.
7. Fazzalari NL, Parkinson IH. Fractal dimension and architecture of trabecular bone. J Pathol 1996; 178 : 100-5.
8. Yaşar F, Akgünlü F. Fractal dimension and lacunarity analysis of dental radiographs. Dentomaxillofac Radiol 2005; 34 : 261-7.
9. Lynch JA, Hawkes DJ, Buckland-Wright JC. A robust and accurate method for calculating the fractal signature of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees. Med Inform 1991; 16 : 241-51.
10. Lee KH, Lee SB, An CH, Heo MS, Yi WJ, Huh KH, et al. The influence of X ray beam angulation on the fractal analysis of trabecular architecture in human dry mandible using standardized tile counting method. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2004; 34 : 179-83.
11. An BM, Heo MS, Lee SP, Lee SS, Choi SC, Park TW, et al. Effect of exposure time and image resolution on fractal dimension. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2002; 32 : 75-9.
12. Ulm C, Kneissel M, Schedle A, Solar P, Matejka M, Schneider B, et al. Characteristic features of trabecular bone in edentulous maxillae. Clin Oral Implants Res 1999; 6 : 459-67.
13. Link TM, Majumdar S, Konermann W, Meier N, Lin JC, Newitt D, et al. Texture analysis of direct magnification radiographs of vertebral specimens: correlation with bone mineral density and biomechanical properties. Acad Radiol 1997; 4 : 167-76.
14. Lee JM, Park H, Jeong HG, Kim KD, Park CS. Bony change of apical lesion healing process using fractal analysis. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2005; 35 : 91-6.
15. Wojtowicz A, Chaberek S, Kryst L, Urbanowska E, Ciecchowiec K, Ostrowski K. Fourier and fractal analysis of maxillary alveolar ridge repair using platelet rich plasma (PRP) and inorganic bovine bone. Int J Oral Maxillofac Surg 2003; 32 : 84-6.
16. Ruttimann UE, Webber RL, Hazelrig JB. Fractal dimension from radiographs of periodontal alveolar bone. A possible diagnostic indicator of osteoporosis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1992; 74 : 98-110.
17. White SC, Rudolph DJ. Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1999; 88 : 628-35.
18. Cha SY, Han WJ, Kim EK. Usefulness of fractal analysis for the diagnosis of periodontitis. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2001; 31 : 35-42.
19. Jung YH. Evaluation of peri-implant bone using fractal analysis. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2005; 35 : 121-5.
20. Smith DE, Zarb GA. Criteria for success of osseointegrated endosseous implants. J Prosthet Dent 1989; 62 : 567-72.

21. Baron M, Haas R, Dörtbudak O, Watzek G. Experimentally induced peri-implantitis: a review of different treatment methods described in the literature. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000; 15 : 533-44.
22. Bida DF. Current applications of the dental laser in implantology. *Implant Soc* 1991; 2 : 8-10.
23. Walsh LJ. The use of lasers in implantology: an overview. *J Oral Implantol* 1992; 18 : 335-40.
24. Pick RM, Colvard MD. Current status of lasers in soft tissue dental surgery. *J Periodontol* 1993; 64 : 589-602.
25. Rüegegger P, Koller B, Müller R. A microtomographic system for the nondestructive evaluation of bone architecture. *Calcif Tissue Int* 1996; 58 : 24-9.
26. 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 : 258-62.
27. Isenberg G, Goldman HM, Spira J, Parsons F, Street P. Radiography analysis by two-dimensional microdensitometry. *J Am Dent Assoc* 1968; 77 : 1069-73.
28. Ort MG, Gregg EC, Kaufman B. Subtraction radiography: techniques and limitations. *Radiology* 1977; 124 : 65-72.
29. Cullum ID, Ell PJ, Ryder JP. X-ray dual-photon absorptiometry: a new method for the measurement of bone density. *Br J Radiol* 1989; 62 : 587-92.
30. Geraets WG, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29 : 144-53.
31. Veenland JF, Grashuis JL, Weinans H, Ding M, Vrooman HA. Suitability of texture features to assess changes in trabecular bone architecture. *Pattern Recognit Lett* 2002; 23 : 395-403.
32. Heo MS, Park KS, Lee SS, Choi SC, Koak JY, Heo SJ, et al. Fractal analysis of mandibular bony healing after orthognathic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 94 : 763-7.
33. Huang Q, Lorch JR, Dubes RC. Can the fractal dimension of images be measured? *Pattern Recognit* 1994; 27 : 339-49.
34. Chappard D, Legrand E, Haettich B, Chalès G, Auvinet B, Eschard JP, et al. Fractal dimension of trabecular bone: comparison of three histomorphometric computed technique for measuring the architectural two-dimensional complexity. *J Pathol* 2001; 195 : 515-21.
35. Bollen AM, Taguchi A, Huijoel PP, Hollender LG. Fractal dimension on dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30 : 270-5.
36. Nair MK, Seyedain A, Webber RL, Nair UP, Piesco NP, Agarwal S, et al. Fractal analyses of osseous healing using tuned aperture computed tomography images. *Eur Radiol* 2001; 11 : 1510-5.
37. Pornprasertsuk S, Ludlow JB, Webber RL, Tyndall DA, Yamauchi M. Analysis of fractal dimensions of rat bones from film and digital images. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30 : 179-83.
38. Jolley L, Majumdar S, Kapila S. Technical factors in fractal analysis of periapical radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 393-7.
39. Shrout MK, Potter BJ, Hildebolt CF. The effect of image variations on fractal dimension calculations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997; 84 : 96-100.
40. Kim JD, Kim JS, Lee CY. A fractal analysis of bone phantoms from digital images. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 33-40.
41. Lee KI, Choi SC, Park TW, You DS. Fractal dimension calculated from two types of region of interest. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 284-9.
42. Majumdar S, Weinstein RS, Prasad RR. Application of fractal geometry techniques to the study of trabecular bone. *Med Phys* 1993; 20 : 1611-9.
43. Chung HW, Chu CC, Underweiser M, Wehrli FW. On the fractal nature of trabecular structure. *Med Phys* 1994; 21 : 1535-40.
44. Schou S, Holmstrup P, Jørgensen T, Stoltze K, Hjørting-Hansen E, Wenzel A. Autogenous bone graft and ePTFE membrane in the treatment of peri-implantitis. I. Clinical and radiographic observations in cynomolgus monkeys. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14 : 391-403.
45. Marinello CP, Berglundh T, Ericsson I, Klinge B, Glantz PO, Lindhe J. Resolution of ligature-induced peri-implantitis lesions in the dog. *J Clin Periodontol* 1995; 22 : 475-9.
46. Ericsson I, Persson LG, Berglundh T, Edlund T, Lindhe J. The effect of antimicrobial therapy on periimplantitis lesions. An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 1996; 7 : 320-8.
47. Hürzeler MB, Quiñones CR, Morrison EC, Caffesse RG. Treatment of peri-implantitis using guided bone regeneration and bone grafts, alone or in combination, in beagle dogs. Part 1: Clinical findings and histologic observations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995; 10 : 474-84.
48. Hürzeler MB, Quiñones CR, Schüpbach P, Morrison EC, Caffesse RG. Treatment of peri-implantitis using guided bone regeneration and bone grafts, alone or in combination, in beagle dogs. Part 2: Histologic findings. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; 12 : 168-75.
49. Heitz-Mayfield LJ, Lang NP. Antimicrobial treatment of peri-implant diseases. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19 Suppl : 128-39.
50. Hanisch O, Tatakis DN, Boskovic MM, Rohrer MD, Wikesjo UM. Bone formation and reosseointegration in peri-implantitis defects following surgical implantation of rhBMP-2. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; 12 : 604-10.
51. Schou S, Berglundh T, Lang NP. Surgical treatment of peri-implantitis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19 Suppl : 140-9.
52. Lang NP, Berglundh T, Heitz-Mayfield LJ, Pjetursson BE, Salvi GE, Sanz M. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding implant survival and complications. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19 Suppl : 150-4.
53. Machado MA, Stefani CM, Sallum EA, Sallum AW, Tramontina VA, Nogueira-Filho GR, et al. Treatment of ligature-induced peri-implantitis defects by regenerative procedures. Part II: A histometric study in dogs. *J Oral Sci* 2000; 42 : 163-8.
54. Nociti FH Jr, Machado MA, Stefani CM, Sallum EA. Absorbable versus nonabsorbable membranes and bone grafts in the treatment of ligature-induced peri-implantitis defects in dogs: a histometric investigation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001; 16 : 646-52.
55. Nociti FH Jr, Machado MA, Stefani CM, Sallum EA, Sallum AW. Absorbable versus nonabsorbable membranes and bone grafts in the treatment of ligature-induced peri-implantitis defects in dogs. Part I. A clinical investigation. *Clin Oral Implants Res* 2001; 12 : 115-20.
56. Pick RM, Power GL. Lasers in dentistry. Soft-tissue procedures. *Dent Clin North Am* 1993; 37 : 281-96.
57. Deppe H, Horch H, Henke J, Donath K. Peri-implant care of ailing implants with the carbon dioxide laser. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001; 16 : 659-67.
58. Deppe H, Horch H, Greim H, Brill T, Wagenpfeil S, Donath K. Peri-implant care with the CO₂ laser: in vitro and in vivo results. *Med Laser Appl* 2005; 20 : 61-70.