

# 치주질환 진단시 프랙탈 분석의 유용성에 관한 연구

단국대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실

차 상 윤 · 한 원 정 · 김 은 경

## Usefulness of fractal analysis for the diagnosis of periodontitis

Sang-Yun Cha, Won-Jeong Han, Eun-Kyung Kim

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Dankook University

### ABSTRACT

**Purpose :** To evaluate the usefulness of fractal analysis for diagnosis of periodontitis.

**Materials and Methods :** Each 30 cases of periapical films of male mandibular molar were selected in normal group and patient group which had complete furcation involvement. They were digitized at 300 dpi, 256 gray levels and saved with gif format. Rectangular ROIs (10×20 pixel) were selected at furcation, interdental crest, and interdental middle 1/3 area. Fractal dimensions were calculated three times at each area by mass radius method and were determined using a mean of three measurements. We compared fractal dimensions at furcation and interdental crest area of normal group with those of patient group. And then we compared ratio of fractal dimensions at furcation area, interdental crest area to interdental middle 1/3 area.

**Results :** Fractal dimension at interdental crest area of normal group was  $1.979 \pm 0.018$  and that of patient group  $1.971 \pm 0.012$  ( $p > 0.05$ ). Fractal dimension at furcation area of normal group was  $1.986 \pm 0.024$  and that of patient group  $1.974 \pm 0.015$  ( $p < 0.05$ ). The ratio of fractal dimension at interdental crest area to interdental middle 1/3 of normal group was  $1.003 \pm 0.015$  and that of patient group  $0.993 \pm 0.018$  ( $p < 0.05$ ). The ratio of fractal dimension at furcation area to interdental middle 1/3 of normal group was  $1.006 \pm 0.018$  and that of patient group  $0.994 \pm 0.018$  ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion :** The ratio of fractal dimension at interdental crest and furcation area to interdental middle 1/3 area showed a statistically significant difference between normal and patient group. In conclusion, it is thought that fractal analysis might be useful for the diagnosis of periodontitis. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2001; 31 : 35-42)

**KEY WORDS :** fractals, fractal dimension, periodontitis, radiography

### 서 론

1963년 에드워드 로렌츠<sup>1)</sup>는 비주기적 대류계 (non periodic flow)로 무질서해 보이는 운동 속에 일정한 규칙이 있음을 보여줌으로써 카오스라는 불규칙하고 무질서해 보이는 현상의 이면에 규칙성을 가지는 운동이 존재함을 입증하였다. 이 규칙성은 기이한 끌개 (strange attractor)라는 질서 구조에 의해 주어진다. 그런데 위상 공간상에 그

러지는 이 기이한 끌개는 무한히 많은 층으로 이루어져 있으며 일부분을 취해도 전체의 모습이 나타나는 자기 유사성 (self-similarity)을 보이는 기하학적 구조이다. 이렇듯 자기 유사성을 가지는 구조를 프랙탈 구조라고 한다.<sup>2)</sup>

만델브로트<sup>3)</sup>가 1983년에 프랙탈 기하학에 대한 개념을 발표했는데, 자기 유사성을 보이는 프랙탈 구조의 복잡성을 정량화시켜 측척을 바꾸어 가면서 계산하였고 이를 통해 측척에 불변인 소수의 차원을 구하였다.

프랙탈 차원은 구조의 복잡도를 상대적으로 비교하고 모델링하는 수단이다. 어떤 대상의 복잡도가 증가할수록, 덜 복잡한 대상에 비하여 프랙탈 차원이 더 커진다.<sup>4)</sup>

카오스와 프랙탈 구조는 생체 시스템내에서도 많이 찾아 볼 수 있으며 의학 분야에서는 혈관의 분지,<sup>5)</sup> 심장의 전

접수일: 2000년 12월 7일      채택일: 2001년 1월 3일  
Correspondence to: Prof. Eun-Kyung Kim  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Dankook University, San 7-1, Shinbu-dong, Chunan, Choongnam, Korea  
Tel) 82-041-550-1923, Fax) 041-553-3707  
E-mail) ekkim@anseo.dankook.ac.kr

기 전도,<sup>6</sup> 신경 소자,<sup>7</sup> 뇌파의 불규칙한 변화<sup>8</sup> 등 생체 현상을 해석하고 표현하는데 이용되고 있다.

치의학 분야에서도 프랙탈 기하학을 이용하려는 시도들이 있어 왔으며 골소주가 전형적인 프랙탈 구조를 이루고 있음을 이용하여 프랙탈 분석을 진단 도구로 개발하는 데 관심이 집중되어 왔다.

가장 먼저 다루어진 것은 골량의 감소를 가져오는 골다공증의 진단에 프랙탈 분석을 이용하는 것이었다. 골의 무기질 밀도를 프랙탈 차원과 비교하거나<sup>9-13</sup> 골절편의 탈회 전후의 프랙탈 차원을 비교하는 연구들이 발표되었다.<sup>14-17</sup> 치주질환에 이환될 경우 나타나는 골변화를 프랙탈 분석으로 검출할 수 있는지에 대한 연구들도 이루어졌다.<sup>18-20</sup>

또한 환자를 대상으로 한 프랙탈 분석의 임상적 의의와 적용에 대한 연구도 진행되었는데<sup>21-23</sup> 다른 한편에서는 프랙탈 분석의 임상적 적용에 대한 문제점과 분석의 방법론에 대한 논란도 제기되었다.<sup>24-28</sup> 이는 프랙탈 분석을 진단 도구로서 임상에 적용하기에는 아직까지는 한계가 있음을 의미한다.

이와 같이 골질환의 진단에 프랙탈 분석을 이용하고자 하는 많은 연구들이 있었으나, 아직까지 임상이나 컴퓨터 보조 진단 (computer aided diagnosis)에 적용할 수 있도록 프랙탈 차원에 대한 기준이나 근거를 어떻게 설정할 것인가가 명확히 밝혀지지 않고 있다.

본 연구에서는 이러한 연구와 논의의 시발점으로서 정상군과 치주염 환자군에서 치근이개부 하방 치조골 부위와 치조정 부위에서의 프랙탈 차원과, 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 각 부위의 프랙탈 차원 비를 구하여 두 군간에 비교함으로써 치주질환 진단시 프랙탈 분석의 유용성을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

본 연구는 1996년부터 2000년 사이에 단국대학교 치과대학 부속 치과병원에서 구내 방사선 촬영기 (70 kV, 8 mA,

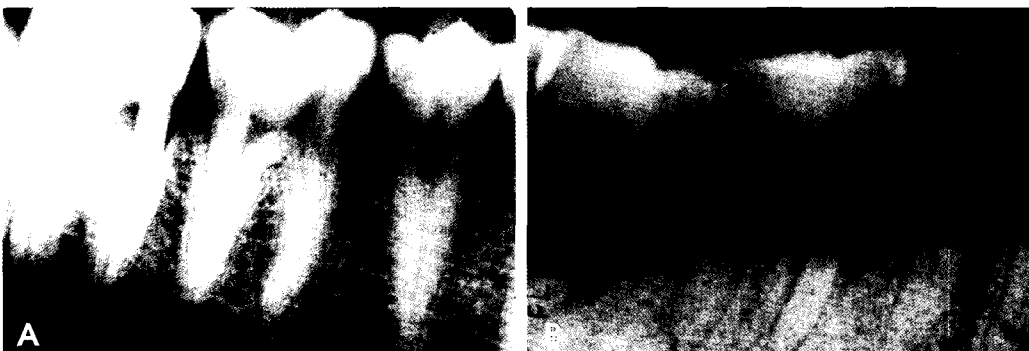
Trophy radiologie, France)로 촬영된 치근단 방사선사진 중 치조골 흡수가 전혀 없는 30개의 정상 치근단 방사선사진 (Fig. 1A)과 치조골 흡수로 인해 치근이개부가 협설측으로 완전히 개통된 30개의 치주염 환자 치근단 방사선사진 (Fig. 1B)을 대상으로 하였다. 골다공증의 영향이 있을 수 있는 여성과, 치근이개부에 구개측 치근이 결찰 가능성이 높은 상악 치근단 방사선사진은 제외하였고 치근이개부가 완전히 드러난 남성 하악 구치부 치근단 방사선사진만을 대상으로 하였다. 3인의 방사선과 전공의 수련을 받은 자들이 각 치근단 방사선사진들을 판독하여 연구 재료를 선택하였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 프랙탈 차원 구하기

각 치근단 방사선사진은 평판 스캐너 (Scanmaker 6400 XL, Microtec, Taiwan)와 Photoshop V5.0 프로그램 (Adobe Systems Inc., USA)을 사용하여 해상도 300dpi, 256 단계의 계조도로 디지털화하여 gif format graphic file로 저장하였다. Paintshop pro V6.0 프로그램 (Jasc Software Inc., USA)으로 치근이개부 하방 치조골 (a) 부위와 치조정 (b) 부위에서 피질골을 포함하지 않으면서 가능한 한 최상부에 10×20 픽셀의 직사각형 관심 영역을 정하였다. 관심 영역은 충분한 시간차를 두고 3회 선택하여 각각의 프랙탈 차원을 얻은 후 세 값을 평균하여 해당 부위의 프랙탈 차원을 정하였다. 또한 정상 치조골로 간주할 수 있는 치간골 중간 1/3 (c) 부위에서 동일한 크기와 방식으로 관심 영역을 설정하여 프랙탈 차원을 구하였다 (Fig. 2).

각 관심 영역의 프랙탈 차원은 오스트레일리아의 public domain인 LIFE site (<http://www.life.csu.edu.au>)에서 제공하는 프랙탈 분석 프로그램인 Fractop V0.2를 사용하여 Mass radius method로 구하였다 (Fig. 3). Mass radius method<sup>29</sup>는 대상이나 대상의 회전 반경 안에 임의의 숫자의 중심을 설정한 뒤 이를 중심으로 한 반경 r을 가진 원을 그리고, 이 원안에 포함된 대상영역을 M(r)이라 한다. 이 과정을 반경 r을 증가시켜가며 되풀이하여 M(r)과 r의 이중로그 좌표 그래프를 그린 후 이 그래프의 기울기를 구하는데



**Fig. 1.** A. Normal Group shows intact furcation and alveolar bone crest area; B. Patient Group shows horizontal and vertical alveolar bone resorption with furcation involvement

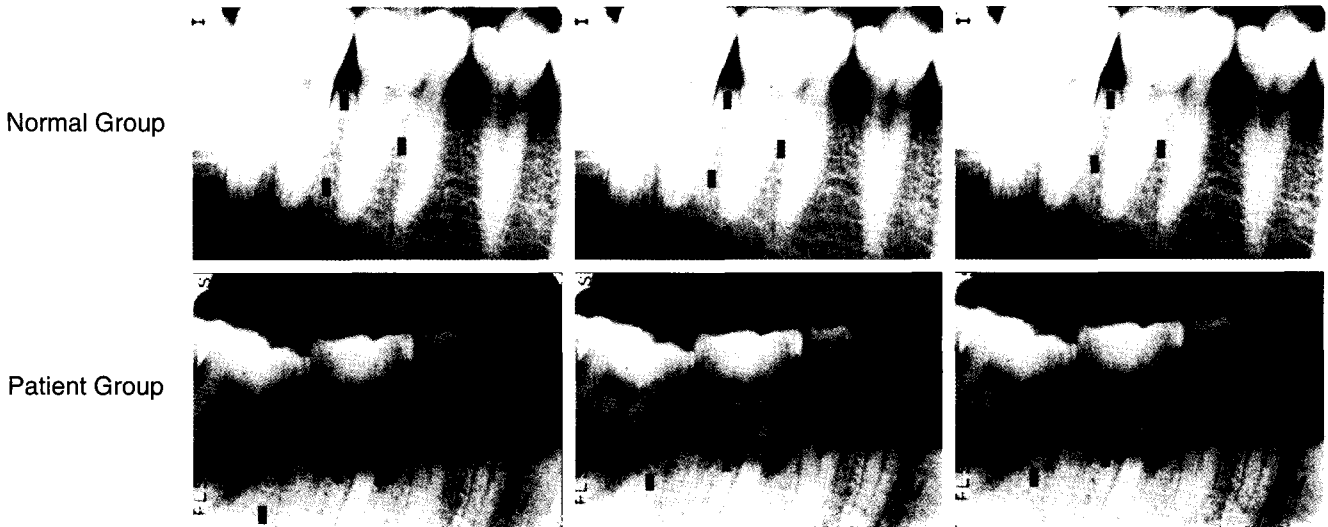


Fig. 2. Digitized periapical radiographs of normal and patient group.

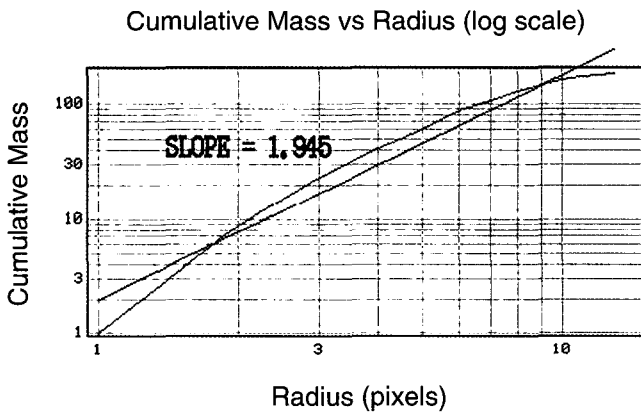


Fig. 3. This graph shows the sample of cumulative mass vs radius.

이 기울기가 바로 대상의 프랙탈 차원이다 (Fig. 3). 이때 연구에 사용된 프로그램에서 중심의 수는 평균 20 이상이었고, 회귀점은 10개를 사용했으며, 중심들은 회전 반경의 0.3 배 내에 존재했다.

2) 프랙탈 차원의 비교

(1) 치근이개부 하방 치조골 부위

정상군의 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 (Na)과 치주염 환자군의 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 (Pa)을 구하여 비교하였다.

(2) 치조정 부위

정상군의 치조정 부위의 프랙탈 차원 (Nb)과 치주염 환자군의 치조정 부위의 프랙탈 차원 (Pb)을 구하여 비교하였다.

3) 프랙탈 차원 비의 비교

(1) 치근이개부 하방 치조골 부위

정상군의 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원 (Nc)을 구하고 이에 대한 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 (Na) 비를 구하였다 (Na/Nc). 또한 치주염 환자군의 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원 (Pc)을 구하고 이에 대한 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 (Pa) 비를 구하였다 (Pa/Pc). 이렇게 구해진 정상군과 치주염 환자군의 치간골 중간 1/3에 대한 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 비를 비교하였다.

(2) 치조정 부위

정상군의 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원 (Nc)을 구하고 이에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 (Nb)의 비를 구하였다 (Nb/Nc). 또한 치주염 환자군의 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원 (Pc)을 구하고 이에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 (Pb) 비를 구하였다 (Pb/Pc). 이렇게 구해진 정상군과 치주염 환자군의 치간골 중간 1/3에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 비를 비교하였다.

4) 통계 처리

이렇게 해서 얻어진 각 프랙탈 차원은 SigmaStat V2.0 program (Jandel Co., USA)을 이용하여 Mann-Whitney rank sum test로 통계 처리하여 비교하였다.

결 과

1. 프랙탈 차원

정상군의 치근이개부 하방 치조골 부위에서의 프랙탈 차원의 평균은  $1.986 \pm 0.024$ 였고, 치조정 부위에서의 프랙탈 차원의 평균은  $1.979 \pm 0.018$ 이었다. 치주염 환자군의 치근이개부 하방 치조골 부위에서의 프랙탈 차원의 평균은  $1.986 \pm 0.024$ 였고, 치조정 부위에서의 프랙탈 차원의

**Table 1.** Fractal dimension at each area

	Na	Pa	Nb	Pb	Nc	Pc
1	1.989	1.957	1.957	1.977	1.971	2.001
2	1.962	1.985	1.970	1.985	1.970	2.025
3	1.973	1.975	1.977	1.978	1.955	2.007
4	1.985	1.967	1.967	1.963	1.976	1.978
5	1.965	1.977	1.970	1.975	1.993	1.964
6	1.977	1.977	1.973	1.975	2.020	1.997
7	1.981	1.974	2.037	1.975	1.978	1.958
8	1.971	1.962	1.964	1.973	1.984	1.994
9	1.950	1.963	1.978	1.960	1.929	1.979
10	1.977	1.961	1.979	1.961	1.982	2.008
11	1.984	1.970	1.970	1.961	1.980	1.978
12	1.957	1.961	1.974	1.972	1.956	20.12
13	1.981	1.966	1.969	1.968	1.970	2.008
14	2.006	1.966	1.970	1.926	1.971	2.070
15	1.953	1.983	1.968	1.978	2.010	1.937
16	2.076	1.978	2.009	1.977	1.958	2.006
17	1.985	1.975	1.969	1.984	1.962	1.974
18	1.985	1.947	1.979	1.981	1.954	1.972
19	1.976	1.971	1.971	1.955	1.933	1.948
20	2.007	2.027	1.974	1.983	1.996	1.967
21	2.007	1.962	1.995	1.973	2.021	2.007
22	1.984	1.982	1.963	1.970	1.982	1.976
23	1.970	2.006	1.979	1.993	2.019	1.958
24	1.986	1.969	1.965	1.955	1.956	1.964
25	1.987	1.965	1.983	1.967	1.982	1.965
26	1.997	1.977	1.978	1.972	1.963	1.988
27	2.012	1.977	1.970	1.962	1.946	1.979
28	1.999	1.974	1.996	1.964	1.990	2.026
29	2.025	1.976	1.986	1.978	1.949	1.970
30	1.978	1.982	2.023	1.962	1.961	1.944
Mean	1.986	1.974	1.979	1.971	1.974	1.985
±S.D.	±0.024	±0.015	±0.018	±0.012	±0.024	±0.028

Na : Fractal dimension at furcation area of normal group  
 Pa : Fractal dimension at furcation area of patient group  
 Nb : Fractal dimension at alveolar crest area of normal group  
 Pb : Fractal dimension at alveolar crest area of patient group  
 Nc : Fractal dimension at middle 1/3 interdental bone area of normal group  
 Pc : Fractal dimension of middle 1/3 interdental bone area of patient group

평균은  $1.979 \pm 0.018$  이었다 (Table 1).

**2. 프랙탈 차원 비**

정상군의 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 비의 평균은  $1.006 \pm 0.018$  이었고, 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 비의 평균은  $1.003 \pm 0.015$  이었다.

치주염 환자군의 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 비의 평균은  $0.994 \pm 0.018$  이었고, 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 비의 평균은

**Table 2.** Ratio of fractal dimension at each area

	Na/Nc	Pa/Pc	Nb/Nc	Pb/Pc
1	1.009	0.978	0.993	0.988
2	0.996	0.980	1.000	0.980
3	1.009	0.984	1.011	0.985
4	1.005	0.995	0.995	0.992
5	0.986	1.007	0.989	1.004
6	0.979	0.990	0.977	0.989
7	1.001	1.008	1.030	1.009
8	0.993	0.984	0.990	0.991
9	1.011	0.992	1.025	1.997
10	0.998	0.977	0.998	0.976
11	1.002	0.996	0.995	0.991
12	1.000	0.975	1.009	0.980
13	1.006	0.979	1.000	0.980
14	1.018	0.950	0.999	0.931
15	0.972	1.023	0.979	1.021
16	1.060	0.986	1.026	0.985
17	1.012	1.001	1.004	1.005
18	1.016	0.987	1.013	1.005
19	1.022	1.012	1.019	1.004
20	1.005	1.030	0.989	1.008
21	0.993	0.977	0.987	0.983
22	1.001	1.003	0.990	0.997
23	0.976	1.024	0.981	1.018
24	1.015	1.003	1.005	0.996
25	1.003	1.000	1.001	1.001
26	1.017	0.994	1.007	0.992
27	1.034	0.999	1.013	0.992
28	1.005	0.974	1.003	0.969
29	1.039	1.003	1.019	1.004
30	1.008	1.020	1.032	1.009
Mean	1.006	0.994	1.003	0.993
±S.D.	±0.018	±0.018	±0.015	±0.017

Na/Nc : Ratio of fractal dimension at furcation area to fractal dimension at middle 1/3 interdental bone area in normal group  
 Pa/Pc : Ratio of fractal dimension at furcation area to fractal dimension at middle 1/3 interdental bone area in patient group  
 Nb/Nc : Ratio of fractal dimension at alveolar crest area to fractal dimension at middle 1/3 interdental bone area in normal group  
 Pb/Pc : Ratio of fractal dimension at alveolar crest area to fractal dimension at middle 1/3 interdental bone area in patient group

$0.993 \pm 0.017$  이었다 (Table 2).

**3. 프랙탈 차원의 비교**

치근이개부 하방 치조골 부위에서 프랙탈 차원의 평균은 정상군에서는  $1.986 \pm 0.024$  이었고, 치주염 환자군에서는  $1.974 \pm 0.015$  로서 정상군보다 치주염 환자군에서 프랙탈 차원이 낮았으며, 두 군은 유의수준 5%에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다.

치조정 부위에서 프랙탈 차원의 평균은 정상군에서는  $1.979 \pm 0.018$  이었고, 치주염 환자군에서는  $1.971 \pm 0.012$  로서 정상군보다 치주염 환자군에서 프랙탈 차원값이 낮았으나, 두 군 사이의 통계학적으로 유의성 있는 차이는 없

**Table 3.** Comparison of fractal dimension at each area

	Fractal dimension	
	Furcation area	Alveolar crest area
Normal group	1.986±0.024	1.979±0.018
Patient group	1.974±0.015	1.971±0.012
p	p<0.05	p>0.05

**Table 4.** Comparison of ratio of fractal dimension at each area

	Fractal dimension	
	Furcation area	Alveolar crest area
Normal group	1.006±0.018	1.003±0.015
Patient group	0.994±0.018	0.993±0.017
p	p<0.05	p<0.05

었다(Table 3).

#### 4. 프랙탈 차원 비의 비교

치간골 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 치근이개부 하방 치조골 부위의 프랙탈 차원 비의 평균은 정상군에서는 1.006±0.018 이었고, 치주염 환자군에서는 0.994±0.018 로서 정상군보다 치주염 환자군에서 프랙탈 차원 비가 더 낮았으며, 두 군은 유의수준 5%에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다.

치간골 1/3 부위의 프랙탈 차원에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 비의 평균은 정상군에서는 1.003±0.015 이었고, 치주염 환자군에서는 0.993±0.017 로서 정상군보다 치주염 환자군에서 프랙탈 차원 비가 낮았으며, 두 군은 유의수준 5%에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다(Table 4).

### 고 찰

본 연구에서 각 부위의 프랙탈 차원을 비교한 결과 치근이개부 하방 치조골 부위는 정상군과 치주염 환자군에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였으나, 치조정 부위는 정상군과 치주염 환자군 사이에서 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

각 부위의 프랙탈 차원 비를 구하여 비교한 연구에서는 치간골 1/3 부위에 대한 치조정 부위의 프랙탈 차원 비는 정상군과 치주염 환자군에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다. 또한 치간골 1/3 부위에 대한 치근이개 부위의 프랙탈 차원 비도 정상군과 치주염 환자군에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다.

Lee 등<sup>17</sup>은 소의 장골을 탈회시켜 프랙탈 분석을 시행하고, 탈회가 진행될수록 프랙탈 차원이 감소함을 보였고, Khosrovi 등<sup>18</sup>은 정상 치조골보다 치주질환에 이환된 치조

골의 프랙탈 차원이 더 적다고 하였으며, Southald 등<sup>15</sup>은 치조골 절편을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 구한 결과 탈회 후의 프랙탈 차원이 감소된다고 하였다. 이렇듯 상기한 연구들을 포함한 대부분의 연구에서 탈회나 염증 소견이 있는 부위의 프랙탈 차원은 정상적인 부위와 명확한 차이를 보였다. 하지만 치조골의 프랙탈 차원을 정상군과 치주염 환자군에서 비교한 본 연구에서는 치조정 부위의 결과가 기존 연구들과는 다르게 통계학적으로 유의한 차이가 보이지 않았다. 아마도 그 이유는 표본을 선택할 때 눈으로 확인할 수 없는 치조정에서의 수평적 골흡수가 진행되어진 결과가 반영된 것이 아닌가 사료된다. 또한 치근이개부 하방 치조골 부위의 측정을 위해 관심 영역을 작게 설정할 수 밖에 없었으므로, 치조정에서 흡수된 부위가 있다 하더라도 오차를 줄여줄 수 있는 관심영역내의 정상부위가 상대적으로 적은 것에도 기인하지 않았나 사료된다. 프랙탈 분석에 영향을 주는 다른 요소들에 대한 평가를 위해 심도 깊은 연구가 필요할 것이다.

Ruttimann 등<sup>14</sup>이 1992년 치조골을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 구하여 산으로 탈회한 후 프랙탈 차원이 증가한다고 보고한 이래로 많은 학자들이 골소주의 형태가 프랙탈 구조를 형성하고 있음에 주목하였다. 골변화를 프랙탈 분석으로 진단하려는 이 연구들은 주로 골의 전반적인 감소를 가져오는 골다공증의 진단과 치조골의 염증소견을 대상으로 하는 치주질환의 진단을 목적으로 이루어 졌다.

인간의 대퇴골을 이용하여 골 무기질의 밀도와 프랙탈 차원 사이의 상관관계를 비교 분석한 Lin 등<sup>9</sup>은 둘 사이에 통계학적으로 유의한 관계가 있음을 보였고, Majumdar 등<sup>10</sup>은 인간의 건조된 척추에서 quantitative computed tomography를 이용하여 골다공증을 구별하고자 할 때 프랙탈 분석이 유용하다고 보고하였다. Jiang 등<sup>11</sup>은 골 무기질 밀도와 프랙탈 차원을 비교 연구한 결과 프랙탈 분석이 골을 손상시키지 않고 물성을 평가할 수 있는 방법이라고 제안하였고, Majumdar 등<sup>13</sup>은 인간 척추 및 대퇴골의 골 무기질 밀도와 프랙탈 차원을 비교한 연구에서 프랙탈 분석이 골소주 구조의 양적 평가에 이용될 수 있다고 보고하였다.

또한, 환자를 대상으로 한 프랙탈 분석의 임상적 의의와 적용에 대해서는 Pothuaud 등<sup>12</sup>이 폐경기 이후 골다공증 여성 환자의 대퇴골경부 및 전자골의 무기질 밀도와 프랙탈 차원을 비교하여 프랙탈 분석의 유용성을 연구하였고 Law 등<sup>22</sup>은 골다공증 환자군에서 프랙탈 차원이 높았다고 발표하였고, Caligiuri 등<sup>23</sup>은 골다공증 환자에서 골절 위험 정도를 결정하는데 프랙탈 분석이 도움이 된다고 보고하였다.

이렇듯 많은 연구에서 프랙탈 분석의 유용성이 입증되었으나, 이 프랙탈 분석을 궁극적으로 임상이나 컴퓨터 보

조 진단에 활용하기에는 몇 가지 해결되어야 할 문제들이 있음이 제기되었다. Majumdar 등<sup>27</sup>은 골밀도는 프랙탈 차원에 영향을 주므로 골다공증의 연구에 가치가 있다고 하였고 Chen 등<sup>28</sup>은 치조골을 시뮬레이션한 모델에서 골소주 모델의 직경이 클수록 프랙탈 차원이 증가하며 프랙탈 차원은 또한 조사각의 변화에 따라 변화된다고 하였다. 이러한 문제들은 관심영역의 설정, 프랙탈 차원을 구하는 연산 방법, noise의 문제 등에 대해 아직은 명백한 기준을 가지고 있지 못하며 프랙탈 분석을 진단도구로서 임상에 적용하기에는 한계가 있음을 의미한다.

프랙탈 분석이 임상에서 유용한 진단도구로 활용되기 위해서는 혈압, 맥박, 체온 등처럼 정상과 비정상의 범주가 수치화되어 명확하게 설정되어야만 할 것이다. 지금까지의 연구들은 두 가지 점에서 명확하다. 하나는 프랙탈 차원과 골 변화 사이에는 뚜렷한 상관관계가 있다는 것이다. 다른 하나는 그럼에도 불구하고, 각 연구의 결과들은 Southard 등<sup>15</sup>이 정상 상악 치간골의 프랙탈 차원으로 1.26, Ruttimann 등<sup>14</sup>이 하악골 절편의 프랙탈 차원으로 2.23, Wilding 등<sup>20</sup>은 건조 하악골 절편의 프랙탈 차원으로 2.682를 얻는 등 매우 다른 수치들이 나타난다는 것이다. 전자가 골 변화를 진단하는 것에 대한 프랙탈 분석의 유용성을 입증하고 있다면, 후자는 임상적 진단도구로서 프랙탈 분석이 이용되기 위해서는 각 부위별로 통일된 수치화와 범주 설정이 선행되어야 한다는 것을 말하고 있다.

후자의 작업이 이루어지기 위해서는 먼저 각 연구들의 결과가 왜 그렇게 다르게 나타나는 지에 대한 분석이 선행되어야 한다. 본 연구는 그 이유가 다음의 몇 가지에서 기인한다고 본다.

첫째로, 프랙탈 차원을 구하는 방법의 차이이다. Majumdar 등<sup>27</sup>은 프랙탈 차원을 구하는 방법의 차이는 프랙탈 차원의 결정에 별 영향을 주지 못한다고 하였지만, Geraets 등<sup>30</sup>은 프랙탈 분석을 골 질환의 진단에 이용하기 위한 많은 연구를 검토하면서 프랙탈 분석의 방법에 따라서 프랙탈 차원이 상이하다고 했다. 프랙탈 차원을 구하는 방법은 caliper, tile counting, pixel dilation, box counting, intensity variance, Hurst, variation, blanket, spacial and spectral, power spectrum 등 하나가 아니라 상기 논문에만 10개 이상의 방법이 기술되어 있다. 이 각각의 방법은 프랙탈 표면이 수학적으로 이상적일 경우에는 모두 같은 결과를 나타내지만, 디지털화된 픽셀의 이진 정보를 대상으로 할 때는 서로 상이한 수치를 나타낸다.

Ruttimann 등<sup>14</sup>은 탈회한 후 프랙탈 차원이 증가한다고 하였고, Redford 등<sup>21</sup>은 40대 이상 여성 골다공증 환자의 치조골 프랙탈 차원이 나이에 따라 증가한다고 하였으며 Law 등<sup>22</sup>은 골다공증 환자군에서 프랙탈 차원이 높았다고 발표하는 등 몇몇의 연구에서 다른 연구들과 다르게 골변화시 프랙탈 차원이 증가하는 상반된 결과가 보고된 이유

도 그들이 power spectrum method를 사용하여 프랙탈 차원을 구하였다는 것으로 설명되어 질 수 있을 것이다. 그들이 사용한 fast fourier transform은 3차원 물체의 표면에 대한 프랙탈 분석에 적합하고 대개 그 값이 2.0 이상의 큰 값으로 나타나며, 다른 연구자들의 결과와는 다르게 골소실이 일어날수록 그 값이 증가한다고 Lee 등<sup>17</sup>에 의해 언급되었다.

이렇게 다양한 방법이 존재하는 것은 자연계의 프랙탈 구조가 하우스도르프-베시코비치 차원 (Hausdorff-Besicovitch dimension), 밍코프스키 리본 (Minkowski ribbon), 코호 섬 (Koch island) 등<sup>31,32</sup>과 같은 수학적 모델에서처럼 엄격한 자기 유사성을 나타내지 않고 있으면서 여러 종류의 프랙탈 구조를 형성하는데 기인한다. 즉 대상이 어떤 종류의 프랙탈 구조인가에 따라 그에 적합한 분석 방법이 달라지는 것이다. Pfeifer<sup>33</sup>는 프랙탈 구조를 mass fractal, surface fractal (boundary fractal), pore fractal의 세 가지로 구분하였다. 자연체인 대상은 본체 (mass), 본체의 표면 (surface), 본체로 둘러싸인 구멍 (pore)의 세 가지 부분으로 나누어 볼 수 있다. 이 세 부분에서의 축적 특성 (scaling behavior)을 비교하여 본체와 표면이 유사하고 모두 자기 유사성을 가지면 mass fractal, 구멍과 표면이 유사하고 모두 자기 유사성을 가지면 pore fractal, 단지 표면만이 자기 유사성을 가지면 surface (boundary) fractal이라 한다. 대상을 본체 영역 (occupied sites)과 빈 영역 (empty sites)으로 나누어 볼 때 mass fractal은 본체 영역만을, pore fractal은 빈 영역만을, surface fractal은 본체 영역의 표면만을 사용하여 프랙탈 차원을 계산한다. 본 연구에서는 mass-radius method가 프랙탈 분석에 사용되었는데, 주어진 중심에서 반경 R 내의 중심의 수를  $M_{site}(R)$ 이라하면  $M_{site}(R) \propto R^D$ 의 등식이 성립하며 이 때 반경의 중심은 fractal의 종류에 따라 각 영역 안에서만 존재하게 될 것이므로 세 개의 프랙탈 구조 모두에 적용이 가능하다고 생각했기 때문이다.

Lee 등<sup>17</sup>이 대상의 특징을 고려하여 주의깊게 프랙탈 분석 방법을 결정해야 한다고 한 것처럼 지금까지의 연구는 사용된 프랙탈 분석 방법의 결정에 대한 고찰이 부족했으며 앞으로 골소주 (bone trabecular pattern)가 어떤 종류의 프랙탈이며 이에 합당한 분석 방법이 무엇인지에 대한 연구가 더 필요할 것이다. 이에 대한 연구가 진척되어 임상적 적용에 적절한 하나의 분석 방법이 선택되어 사용되어야 할 것이다.

둘째로 프랙탈 분석에 영향을 주는 잡음 (noise)에 대한 문제이다. 3차원 물체의 2차원 영상을 획득하여 이를 디지털화 하는 과정에서 우리는 잡음을 피할 수 없는데, Chen 등<sup>24</sup>은 구조적인 잡음이 프랙탈 차원에 영향을 준다고 하였다. 본 연구에서는 잡음의 문제는 고려되지 않았는데, 앞으로 이러한 잡음의 영향에 대한 연구가 더 필요하며, 이 잡음을 여과 (filtering)하거나 보정 (correction)할 수 있는

도구의 개발이 필요할 것이다.

셋째로 촬영 방법과 노출 정도, 관심 영역의 적절한 크기 등의 문제이다. Shrout 등<sup>25</sup>은 관심 영역의 크기와 형태가 치조골의 프랙탈 차원을 결정하는데 영향을 준다고 하였지만 관심영역의 위치나 노출의 정도, 배열의 작은 차이는 프랙탈 차원에 영향을 주지 못한다고 하였다.<sup>26</sup> 본 연구는 프랙탈 분석이 임상에 유용한가를 평가하기 위한 것이므로 표준화하지 않은 임상 치근단 방사선 사진을 바로 사용하였다. 하지만, 촬영 각도, 노출 시간, 촬영 방법 등에서 표준화가 필요한 지의 여부와 해상도, 대조도의 차이가 프랙탈 차원에 미치는 영향은 앞으로 더 평가되어야 할 것이다.

임상에서의 진단 도구로서 프랙탈 분석이 유용하기 위해서는 절대적인 기준이 필요하다. 프랙탈 분석의 임상적 적용에 있어서 그 차원을 가지고 판단하는 것은 분석 방법, 환자의 다양한 개인적인 차이, 촬영 방법 및 노출 정도에 따라 다양한 차원이 얻어질 것이므로 적절하지 못하다. 그러므로, 본 연구에서는 정상이라고 가정되는 치조골 부위의 프랙탈 차원과 염증 소견이 있는 부위의 프랙탈 차원의 비를 구하여 임상적 기준을 형성하기 위한 시도를 하였다. 그 결과 치근기개부 하방 치조골 부위와 치조정에서의 프랙탈 차원과 염증이 없는 치간골 중간 1/3 부위의 프랙탈 차원 비를 구하여 정상인과 치주염 환자 사이에 유의한 차이가 있음을 확인하여 치주질환 진단시 프랙탈 분석이 유용함을 보였다. 그러나 앞으로 이를 임상적 기준으로 활용하기 위해서는 각 나이별, 성별 평가와 관심 영역의 다양한 설정, 표준화된 표본과의 비교 등 많은 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- Lorenz E. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci* 1963 ; 20 : 130-41.
- Peitgen HO, Jürgens H, Saupe D. *Chaos and fractals : new frontiers of science*. 1st ed. New York : Springer-Verlag ; 1992. p. 63-6.
- Mandelbrot BB. *The fractal geometry of nature*. 3rd ed. New York : Freeman ; 1983.
- Peitgen HO, Jürgens H, Saupe D. *Fractals for the classroom : part 1 introduction to fractals and chaos*. 2nd ed. New York : Springer-Verlag ; 1993. p. 209-53.
- Sernetz M, Justen M, Jesczowski F. Dispersive fractal characterization of kidney arteries by three-dimensional mass-radius-analysis. In : Evertsz CJG, Peitgen HO, Voss RF. *Fractal geometry and analysis*. 1st ed. Singapore : World scientific ; 1996. p. 475-87.
- Zbilut JP, Mayer KG, Sobotka PA, O' Toole M, Thomas JJ. Bifurcations and intrinsic chaotic and 1/f dynamics in an isolated perfused rat heart. *Biol Cybern* 1989 ; 61 : 371-8.
- Hentschel HGE, Fine A. Complex biological growth : neuronal morphogenesis. In : Evertsz CJG, Peitgen HO, Voss RF. *Fractal geometry and analysis*. 1st ed. Singapore : World scientific ; 1996. p. 501-10.
- Ishibashi A, Aihara K, Kotani M. Chaos in brain and neurons and an analysis on the fractal dimensions. *Iyodenshi To Seitai Kogaku* 1988 ; 26 : 27-61.
- Lin JC, Grampp S, Link T, et al. Fractal analysis of proximal femur radiographs : correlation with biomechanical properties and bone mineral density. *Osteoporos Int* 1999 ; 9 : 516-24.
- Majumdar S, Weinstein RS, Prasad RR. Application of fractal geometry techniques to the study of trabecular bone. *Med Phys* 1993 ; 20 : 1611-9.
- Jiang C, Giger ML, Chinander MR, Martell JM, Kwak S, Favus MJ. Characterization of bone quality using computer-extracted radiographic features. *Med Phys* 1999 ; 26 : 872-9.
- Pothuau L, Lespessailles E, Harba R, et al. Fractal analysis of trabecular bone texture on radiographs : discriminant value in postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int* 1998 ; 8 : 618-25.
- Majumdar S, Lin J, Link T, et al. Fractal analysis of radiographs : assessment of trabecular bone structure and prediction of elastic modulus and strength. *Med Phys* 1999 ; 26 : 1330-40.
- Ruttimann UE, Webber RL, Hazelig JB. Fractal dimension from radiographs of peridental alveolar bone : a possible diagnostic indicator of osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992 ; 74 : 98-110.
- Southard TE, Southard KA, Jakobsen JR, Hillis SL, Najim CA. Fractal dimension in radiographic analysis of alveolar process bone. *Dentomaxillofac Radiol* 1996 ; 82 : 569-76.
- Hildebolt CF. Osteoporosis and oral bone loss. *Dentomaxillofac Radiol* 1998 ; 26 : 3-15.
- Lee KI, Choi SC, Park TW, You DS. Fractal dimension calculated from two types of region of interest. *Dentomaxillofac Radiol* 1999 ; 28 : 284-9.
- Khosrovi PM, Kahn AJ, Majumdar HK, et al. Fractal analysis of dental radiographs to assess trabecular bone structure. *J Dent Res* 1994 ; 73 : 390.
- Shrout MK, Roberson B, Potter BJ, Mailhot JM, Hildebolt CF. A comparison of 2 patient populations using fractal analysis. *J Periodontol* 1998 ; 69 : 9-13.
- Wilding RJC, Slabbert JCG, Kathree H, Owen CP, Crombie K, Delport P. The use of fractal analysis to reveal remodelling in human alveolar bone following the placement of dental implants. *Arch Oral Biol* 1995 ; 40 : 61-72.
- Redford M, Webber RL, Horton G, Tell G. Fractal dimension as a measure of clinical changes in alveolar bone. *J Dent Res* 1994 ; 73 : 390.
- Law AN, Bollen AM, Chen SK. Detecting osteoporosis using dental radiographs : A comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996 ; 127 : 1734-42.
- Caligiuri P, Giger ML, Favus M. Multifractal radiographic analysis of osteoporosis. *Med Phys* 1994 ; 21 : 503-8.
- Chen JI, Zheng B, Chang YH, Shaw CC, Towers JD, Gur D. Fractal analysis of trabecular patterns in projection radiographs : an assessment. *Invest Radiol* 1994 ; 29 : 624-9.
- Shrout MK, Hildebolt CF, Potter BJ. The effect of varying the region of interest on calculations of fractal index. *Dentomaxillofac Radiol* 1997 ; 26 : 295-8.
- Shrout MK, Potter BJ, Hildebolt CF, Louis S. The effect of image variations on fractal dimension calculations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1997 ; 84 : 96-100.
- Majumdar S, Lin J, Link T, et al. Fractal analysis of radiographs : Assessment of trabecular bone structure and prediction of elastic modulus and strength. *Med Phys* 1999 ; 26 : 1330-40.

28. Chen SK, Chen CM. The effects of projection geometry and trabecular texture on estimated fractal dimensions in two alveolar bone models. *Dentomaxillofac Radiol* 1998 ; 27 : 270-4.
29. Caserta F, Eldred WD, Fernandez E, et al. Determination of fractal dimension of physiologically characterized neurons in two and three dimensions. *J Neurosci Methods*. 1995 ; 56 : 133-44.
30. Geraets WGM, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2000 ; 29 ; 144-53.
31. Peitgen HO, Jürgens H, Saupe D. *Fractals for the classroom : part 1 introduction to fractals and chaos*. 2nd ed. New York : Springer-Verlag; 1993. p. 75-150.
32. Briggs J. *Fractals : the patterns of chaos*. 1st ed. New York : Simon & Schuster; 1992. p. 61-72.
33. Pfeifer P, Obert M. *Fractals: Basic concepts and terminology*. In : Avnir D. *The fractal approach to heterogeneous chemistry*. 1st ed. Chichester : John Wiley & Sons ; 1989. p. 30-5