

프랙탈 분석을 이용한 치근단병소 치유과정의 골 변화

연세대학교 치과대학 구강악안면방사선과학교실
이지민 · 박 혁 · 정호걸 · 김기덕 · 박창서

Bony change of apical lesion healing process using fractal analysis

Ji-Min Lee, Hyok Park, Ho-Gul Jeong, Kee-Deog Kim, Chang-Seo Park

Department of Oral & Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Yonsei University

ABSTRACT

Purpose : To investigate the change of bone healing process after endodontic treatment of the tooth with an apical lesion by fractal analysis.

Materials and Methods : Radiographic images of 35 teeth from 33 patients taken on first diagnosis, 6 months, and 1 year after endodontic treatment were selected. Radiographic images were taken by JUPITER Computerized Dental X-ray System[®]. Fractal dimensions were calculated three times at each area by Scion Image PC[®] program. Rectangular region of interest (30 × 30) were selected at apical lesion and normal apex of each image.

Results : The fractal dimension at apical lesion of first diagnosis (L_0) is 0.940 ± 0.361 and that of normal area (N_0) is 1.186 ± 0.727 ($p < 0.05$). Fractal dimension at apical lesion of 6 months after endodontic treatment (L_1) is 1.076 ± 0.069 and that of normal area (N_1) is 1.192 ± 0.055 ($p < 0.05$). Fractal dimension at apical lesion of 1 year after endodontic treatment (L_2) is 1.163 ± 0.074 and that of normal area (N_2) is 1.225 ± 0.079 ($p < 0.05$). After endodontic treatment, the fractal dimensions at each apical lesions depending on time showed statistically significant difference. And there are statistically significant different between normal area and apical lesion on first diagnosis, 6 months after, 1 year after. But the differences were grow smaller as time flows.

Conclusion : The evaluation of the prognosis after the endodontic treatment of the apical lesion was estimated by bone regeneration in apical region. Fractal analysis was attempted to overcome the limit of subjective reading, and as a result the change of the bone during the healing process was able to be detected objectively and quantitatively. (Korean J Oral Maxillofac Radiol 2005; 35 : 91-6)

KEY WORDS : Fractal Analysis; Periapical Diseases; Bony Change

서 론

Lewis Richardson이 영국의 해안선의 길이를 측정하려는 중에 처음 프랙탈 개념을 도입하였고 Mandelbrot¹에 의해 프랙탈에 대한 개념이 발표되었다. 일부분을 취해도 전체의 모습이 나타나는 자기 유사성 (self-similarity)을 보이는 기하학적 구조를 프랙탈 구조라고 하며 프랙탈 차원값을 구하는 프랙탈 분석법은 영상 분석에 널리 이용되고 있다. 의학 분야에서는 세포의 외형, 심장의 His-Purkinje system, 혈관 분지, 기관지계의 분지와 같은 생체 형상의 생물학적

형태를 설명하는데 이용하였고 현재 많은 의학 영상분야에서 프랙탈 기하학이 쓰이고 있다.² Lynch 등^{3,4}은 프랙탈 분석을 이용하여 무릎 관절의 관절염의 연구를 하였고 Ruttimann 등⁵은 골의 탈회와 관련하여 프랙탈 분석을 하였다.

치의학 분야에서는 프랙탈 분석이 영상패턴의 인지를 위해 이용되어 왔다. 많은 연구를 통해 프랙탈 분석은 치조골 변화를 나타내는 믿을 만한 표식자로서 받아들여지고 있다.⁵⁻⁷ 프랙탈 분석법은 촬영각도나 배열, 대조도에 거의 영향을 받지 않아^{3,8-10} 객관적으로 골 구조를 특성화할 수 있는 진단 방법으로 주로 치주질환에 이환된 경우 골 변화, 임플란트 식립 후 치조골의 리모델링에 관한 진단¹¹ 등에 많이 쓰이고 있다. Wilding 등¹¹은 임플란트 식립 후 골 변화를 프랙탈 분석을 이용하여 연구하였고 Khosrovi

접수일 : 2005년 4월 7일; 심사일 : 2005년 4월 8일; 채택일 : 2005년 4월 26일
Correspondence to : Prof. Chang-Seo Park
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Yonsei University, 134 Shinchon-Dong, Seodaemun-Gu, Seoul 120-752, Korea
Tel) 82-2-2228-8843, Fax) 82-2-363-5232, E-mail) csp@yumc.yonsei.ac.kr

등⁶은 치주염에 이환된 치조골의 프랙탈 차원값을 비교한 연구를 하였다.

근관 기원의 치근단 병소의 치유과정에서 골 변화를 인지하는 것은 중요하다. 치근단 병소가 있는 치아의 경우 근관 치료를 시행한 후 골 회복에 대한 평가는 주로 주기적인 방사선사진의 육안적 판독에 의해 이루어져 왔다. Bender 등^{12,13}은 골내 병변이 있는 경우 피질골의 흡수 또는 천공이 없는 한 일반 방사선사진에서 그 판독이 어려우며 해면골에 국한된 골 파괴의 경우 30-50%의 골이 상실되어야 판독이 가능하다고 보고하였다. Brynolf¹³도 인체 사체 표본에서 근관치료가 시행된 치아의 치근단부 검사에서 방사선사진상 평가와 조직학적 검사 소견 간에 불일치를 보인다고 하였다. 또한 Goldman 등¹⁴은 방사선사진에서 육안적 평가를 할 때 관찰자간의 불일치가 있고 같은 관찰자내에도 진단의 불일치가 있어 진단상의 오류가 있을 수 있다고 하였다. 이러한 결과는 방사선사진 상에서 골 변화에 대한 판정이 정성적이며 주관적이었기 때문이다. 방사선사진 상에서 육안적 근단 병소 판독의 한계를 극복하고 판독의 정량화를 위해 마이크로토크시미터를 이용한 판독¹⁵이 이루어졌으나 이는 방사선사진상에서 점 또는 선에 대한 정보를 얻는데 불과하여 실용화되지 못하였다. 또한 디지털 공제술¹⁶이라는 시간차를 두고 촬영한 두 장의 방사선사진을 컴퓨터 프로그램을 이용하여 중첩시킨 후 공제하는 술식이 경조직에 발생한 미세한 변화량을 보여준다. 그러나 이러한 디지털 공제술이 성공적 결과를 나타내려면 그 전제조건으로 공제하고자 하는 두 필름의 대조도 및 흑화도가 동일해야 하며, 촬영시의 위치나 촬영 각도 등 촬영 조건이 동일해야 한다. 현재 이러한 전제조건을 보정할 수 있는 컴퓨터 프로그램 상의 방법이 연구 중이다. 이처럼 근관치료 후의 골 변화를 인지하기 위한 방사선사진의 평가시 객관적이고 이상적인 방법이 부족한 실정이다. 따라서 미세한 골조직의 변화를 탐지하여 정량적으로 나타낼 수 있는 분석 장치나 분석 방법이 필요하다.

본 연구의 목적은 디지털 치근단 방사선 영상을 이용하여, 치근단 병소가 있는 치수염에 이환된 치아의 근관치료 후 골 변화를 프랙탈 분석을 이용하여 근관치료 전 후의 치유양상에 있어 골 변화를 정량적으로 분석하는 방법을 제시하고자 하는 것이다.

재료 및 방법

1. 연구 재료

남녀 성인 환자 33명(남자 12명, 여자 21명)의 치근단 병소가 분명히 보이고 근관치료가 성공적으로 완료되어 있고 인접치아는 정상인 35개 치아를 대상으로 하였다. 골

의 병적 흡수가 중단되고 골 경화가 일어나 정상치유가 되었다고 판단되는 치아를 실험군으로, 정상 치근단 부위를 보이는 인접치아를 대조군으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 방사선사진의 촬영

33명의 환자들의 35개의 치근단 병소가 있는 치수염에 이환된 치아의 초진 치근단 방사선사진 영상(Fig. 1), 근관치료 6개월 후의 치근단 방사선사진 영상(Fig. 2), 근관치료 1년 후의 치근단 방사선사진 영상(Fig. 3)을 수집하였다. 각각의 치근단 방사선사진 영상은 JUPITER Computerized Dental X-ray System[®] (Biomedisys Co. Ltd, Seoul, Korea)을 이용하여 촬영되었다. 디지털 치근단 방사선사진

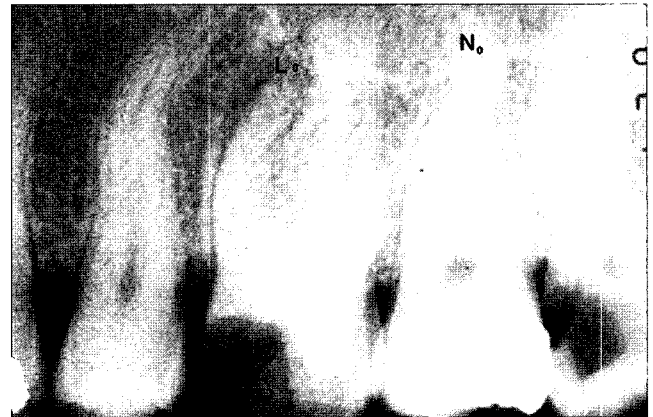


Fig. 1. Digital periapical radiograph of first diagnosis. L₀: apical lesion of first diagnosis, N₀: normal apical portion of first diagnosis.



Fig. 2. Digital periapical radiograph of 6 months after endodontic treatment. L₁: apical lesion of 6 months after endodontic treatment, N₁: normal apical portion of 6 months after endodontic treatment.

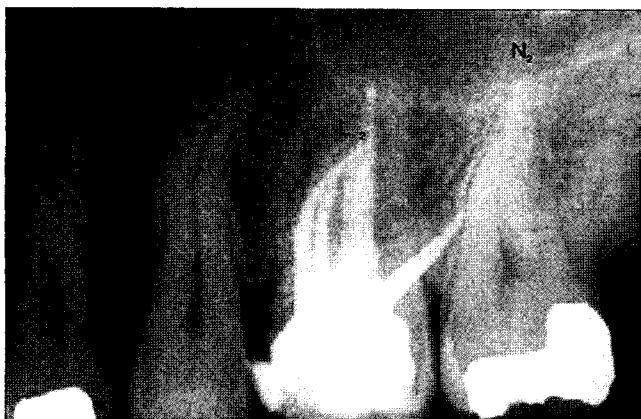


Fig. 3. Digital periapical radiograph of 1 year after endodontic treatment. L₂: apical lesion of 1 year after endodontic treatment, N₂: normal apical portion of 1 year after endodontic treatment.

영상은 그 영상의 크기가 680×460 pixel이며 사진들을 bitmap (BMP) image file로 저장하였다.

2) 프랙탈 차원 계산

치수염에 이환된 당시의 초진 치근단 방사선사진 영상의 병소부위 (L₀)와 정상 치근단 부위 (N₀), 근관치료 6개월 후의 치근단 방사선사진 영상의 병소부위 (L₁)와 정상 치근단 부위 (N₁), 근관치료 1년 후의 치근단 방사선사진 영상의 병소부위 (L₂)와 정상 치근단 부위 (N₂)에서 30×30 pixel의 관심영역을 설정하였다. 각 관심영역은 충분한 시간 간격을 두고 세 번 선택하여 각각의 프랙탈 차원을 구한 후 세 값을 평균하여 관심영역의 프랙탈 차원값을 정하였다. 각 관심영역의 프랙탈 차원은 NIH (National Institutes of Health, Bethesda, Md, USA)에서 제공하는 tile

counting method인 Scion Image PC[®] (v4.02; Scion Corp, Frederick, Md, USA) 프로그램을 제공받아 서울대학교 구강악안면방사선학 교실에서 자체적으로 매크로 언어를 이용하여 프로토콜을 변형, 제작한 프랙탈 분석 프로그램을 사용하여 구하였다(Fig. 4).

3) 통계 분석

각각의 프랙탈 차원은 윈도우용 소프트웨어인 SAS (v8.01; SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)를 이용하였다. 먼저 정상 치근단 부위인 N₀, N₁, N₂의 프랙탈 차원값의 변화를 알아보기 위해 Repeated Measures ANOVA를 시행하였다. L₀, L₁, L₂간의 비교 분석은 시간의 흐름에 따른 Repeated Measures ANOVA를 시행하여 치근단 병소 부위가 근관치료 후 치유과정을 거치면서 프랙탈 차원의 유의할 만한 차이가 있는지를 알아보았다. 또한 L₀와 N₀, L₁와 N₁, L₂와 N₂간의 paired t-test 분석을 하여 각각의 시점에서 치근단 병소 부위와 정상 치근단 부위의 연관성을 분석하였다.

결 과

초진 방사선사진 영상 (Fig. 1)에서 치근단 병소부위 (L₀)의 프랙탈 차원의 평균값은 0.940±0.361이었고, 정상 치근단 부위 (N₀)의 프랙탈 차원의 평균값은 1.186±0.727이었다. 근관치료 시행 6개월 후의 방사선사진 영상 (Fig. 2)에서 치근단 병소부위 (L₁)의 프랙탈 차원의 평균값은 1.076±0.069이었고, 정상 치근단 부위 (N₁)의 프랙탈 차원의 평균값은 1.192±0.055이었다. 근관치료 시행 1년 후의 방사선사진 영상 (Fig. 3)에서 치근단 병소부위 (L₂)의 프랙탈 차원의 평균값은 1.163±0.074이었고, 정상 치근단 부

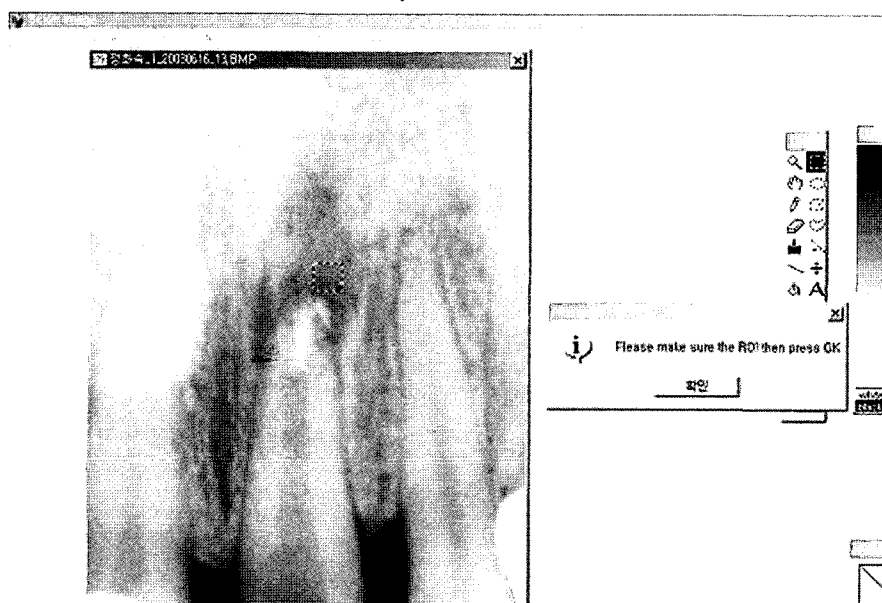


Fig. 4. Fractal analysis by Scion Image PC program.

Table 1. Fractal dimensions at each area

	L ₀	N ₀	L ₁	N ₁	L ₂	N ₂
1	0.9072	1.1197	1.0165	1.1584	1.1932	1.2006
2	0.8691	1.0790	1.0428	1.1839	1.0614	1.2089
3	0.9578	1.0630	1.1882	1.2599	1.1818	1.1729
4	0.8532	1.1676	0.9950	1.1188	1.1595	1.1639
5	0.9024	1.1576	1.0995	1.2064	1.1647	1.1651
6	0.9349	1.2857	1.1062	1.2655	1.1562	1.2118
7	0.9263	1.1950	1.1692	1.1564	1.0952	1.1982
8	0.8721	1.2346	0.9273	1.1938	1.0589	1.2046
9	0.9454	1.0941	1.0725	1.2231	1.1892	1.2043
10	0.9850	1.2517	1.0712	1.2090	1.2868	1.1937
11	0.9399	1.0932	1.0978	1.1375	1.0194	1.1536
12	0.9857	1.3168	1.0525	1.1367	1.1075	1.1699
13	0.9585	1.2255	1.0323	1.1883	1.1040	1.1726
14	0.9183	1.1956	1.0449	1.2245	1.1526	1.1835
15	0.9556	1.1634	1.0039	1.1154	1.2192	1.1839
16	0.9367	1.2691	1.0986	1.1394	1.2979	1.2082
17	0.9822	1.2940	0.9622	1.2928	1.1619	1.1356
18	0.9576	1.2131	1.0958	1.2375	1.3260	1.1772
19	0.9934	1.2721	1.0586	1.2034	1.1699	1.1963
20	0.9500	1.0757	1.1482	1.1083	1.0386	1.1851
21	0.9940	1.2075	1.1470	1.2523	1.1724	1.1693
22	0.9251	1.2855	1.1310	1.1504	1.1268	1.2189
23	0.9638	1.1429	0.9528	1.2668	1.0718	1.2035
24	0.9248	1.1670	1.0138	1.1348	1.0727	1.2132
25	0.9368	1.2546	1.2546	1.2058	1.1882	1.1862
26	0.9273	1.1227	1.1570	1.2300	1.3237	1.1792
27	0.9940	1.1787	1.0860	1.1273	1.2151	1.2050
28	0.9817	1.1155	1.1082	1.2252	1.1585	1.1958
29	0.9334	1.2165	1.0846	1.1229	1.2210	1.1449
30	0.9169	1.2508	1.0273	1.1141	1.1763	1.2073
31	0.9101	1.1122	1.0533	1.2145	1.1762	1.1931
32	0.9667	1.0741	1.0393	1.1930	1.1932	1.1952
33	0.9558	1.2345	1.1366	1.1528	1.1518	1.2369
34	0.9354	1.2283	1.0585	1.2547	1.1377	1.1916
35	0.8871	1.1385	1.1165	1.3035	1.1840	1.1995
Mean	0.9395	1.1855	1.0757	1.1915	1.1632	1.1894
±S.D.	±0.036	±0.727	±0.069	±0.055	±0.741	±0.021

L₀: apical lesion of 1st diagnosis
 N₀: normal apical portion of 1st diagnosis
 L₁: apical lesion of 6 months after endodontic treatment
 N₁: normal apical portion of 6 months after endodontic treatment
 L₂: apical lesion of 1 year after endodontic treatment
 N₂: normal apical portion of 1 year after endodontic treatment

위 (N₂)의 프랙탈 차원의 평균값은 1.189±0.079이었다 (Table 1).

정상 치근단 부위의 프랙탈 차원값(N₀, N₁, N₂)은 시간의 흐름에 따라 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 치근단 병소부위의 프랙탈 차원값(L₀, L₁, L₂)은 시간의 흐름에 따라 초진, 근관치료 6개월 후, 근관 치료 1년 후 각각에서 유의성 있는 차이(p<0.05)를 보였다.

초진 방사선사진 영상에서 치근단 병소 부위(L₀)와 정상 치근단 부위(N₀)간의 유의할 만한 차이(p<0.05)가 있었다. 근관치료 시행 6개월 후의 방사선사진 영상에서 치근

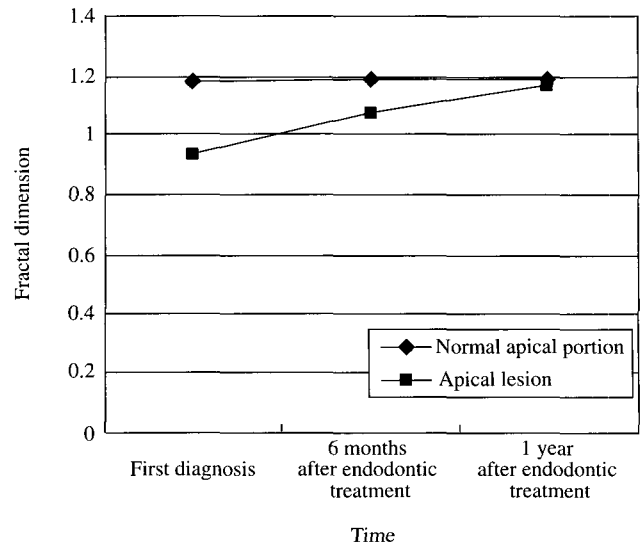


Fig. 5. Fractal dimensions by time flows.

단 병소 부위(L₁)와 정상 치근단 부위(N₁)간의 유의할 만한 차이(p<0.05)가 있었다. 근관치료 시행 1년 후의 방사선사진 영상에서 치근단 병소 부위(L₂)와 정상 치근단 부위(N₂)간의 유의할 만한 차이(p<0.05)가 있었다. 이처럼 정상 부위와 병소 부위 사이에는 1년까지 관찰한 결과 차이가 있었으나 그 차이는 시간이 지날수록 점점 줄어드는 것을 보였다(Fig. 5).

고 찰

치근단 병소가 있는 치아의 근관치료 후 예후에 대한 평가는 치근단부의 골의 병적 흡수가 중단되고 골 경화가 일어나는지로 결정한다. 근관치료 후 골 결손부는 기질화, 반흔화되고 골신생에 의해 치조골이 재생된다. 이런 치조골 재생은 시간차를 둔 시점간의 임상적 변화와 방사선사진 영상에서 방사선투과상의 변화에 의해 판단된다. 방사선사진 영상에서 근단부 투과상의 크기 변화, 치근막강의 확대, 치조백선의 소실 등을 검사하는데 Brynolf,¹³ Goldman 등,¹⁴ Bender 등^{12,13}은 이러한 육안적 방사선사진 판독의 어려움과 불일치에 대해 보고하였다. 이는 판독자의 판독 기준에 주관적인 요소가 크게 좌우되기 때문이다.

방사선사진 영상에서 육안적인 근단 병소 판독의 한계를 극복하고 판독의 정량화, 객관화를 위해 텔레비전 방사선 평가,¹⁷ 비디오펜시토미터¹⁵에 의해 방사선사진의 농도를 측정하여 그 판독을 정량화하려는 시도가 있었으나 여러 가지 한계에 부딪혔다. 또한 최근에는 디지털 공제술¹⁶을 이용하여 치조골의 미세변화를 평가할 수 있게 되었고 프랙탈 분석법 또한 치조골이 프랙탈 구조를 갖는데서 출발하여 치조골의 프랙탈 차원 값을 구하여 골 변화를 정

량적으로 평가할 수 있게 되었다.

프랙탈의 개념은 Mandelbrot¹에 의해 그 개념이 처음 소개되었는데 자기닮음과 소수의 프랙탈 차원값을 그 특성으로 한다. 프랙탈의 수학적 속성은 확대나 축소에 관계없이 동일한 모양의 프랙탈 형태를 나타낼 수 있으며 프랙탈 도형의 특징은 프랙탈 차원을 갖는다는 것이다. 도형의 양에는 길이, 면적, 부피 등이 있다. 이러한 여러 가지 양의 크기를 '측도'라고 한다. 1차원 도형의 측도는 '길이'이며, 2차원 도형의 측도는 '넓이'이다. 이처럼 도형은 그 차원에 따라 측도가 달라진다. 차원이 다른 도형을 확대할 때 그 크기, 즉 측도가 달라진다. 예를 들어 일정한 길이의 1차원 도형인 선분을 3배로 확대하면 그 길이는 3배가 된다. 그러나 2차원 도형인 정사각형을 3배로 확대하면 넓이는 9배가 되고, 3차원 정육면체의 경우에는 부피가 27배로 늘어난다. 따라서 프랙탈 차원이란 다음과 같이 말할 수 있으며 이러한 방법으로 프랙탈 차원을 계산할 수 있다.

$$\text{프랙탈 차원} = \log(\text{측도}) / \log(\text{확대율})$$

Ruttiman 등⁷이 치조골을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 구하여 산으로 탈회한 후 프랙탈 차원이 증가한다고 보고한 이후 많은 학자들이 골소주의 형태가 프랙탈 구조를 이루고 있음을 주목하였다. 골변화를 프랙탈 분석으로 진단하려는 이 연구들은 주로 골의 전반적인 감소를 가져오는 골다공증의 진단과 치조골의 염증소견을 대상으로 하는 치주질환의 진단을 목적으로 이루어졌다.

한편 Lee 등¹⁸은 소의 장골을 탈회시켜 프랙탈 분석을 시행한 결과 탈회가 진행될수록 프랙탈 차원이 감소함을 보였고, Southard 등¹⁹은 치조골 절편을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 비교한 결과 탈회 후에 프랙탈 차원이 감소한다고 하였다. Khosrovi 등⁶과 차 등²⁰ 정상 치조골보다 치주질환에 이환된 치조골의 프랙탈 차원이 더 적다고 하였다. 이처럼 상기의 연구들은 탈회나 염증소견이 있는 골 부위의 프랙탈 차원은 정상 부위와 차이가 있으며 골밀도가 클수록 프랙탈 차원이 증가한다는 것을 보여주고 있다.

이렇듯 많은 연구들에서 프랙탈 분석이 골 변화를 인지하는 데 유용한 방법이라는 것이 입증되었으나 프랙탈 분석을 디지털 영상분석의 정확한 진단방법으로 간주하기에는 아직 문제점들이 많은 실정이다. 앞서 언급한 것처럼 Ruttiman 등⁷은 치조골을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 비교한 연구에서 산으로 탈회한 후의 프랙탈 차원이 증가한다고 하였으나 Lee 등,¹⁸ Southard 등¹⁹은 치조골 절편을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 비교한 결과 탈회 후의 프랙탈 차원이 감소된다고 하였다. 이처럼 상반된 연구결과가 나타나는 이유는 Ruttiman 등⁷의 프랙탈 분석에 사용한 방법이 power spectrum method이기 때문이다. 프랙탈 분석방법은 그 대상의 특성에 따라 다양하여

Geraets와 Stelt²¹가 발표한 연구에 따르면 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. 위의 모든 방법들이 나름대로의 연관성은 있지만 모두 같은 결과를 나타내지는 않는다. 오직 영상이나 사물이 이상적인 프랙탈 표면 성질을 가질 때에만 결과가 같을 수 있다. 디지털화된 픽셀 데이터의 오류가 전혀 없을 순 없고 각각의 방법에 사용된 프로그램 역시 상용화된 것이 아니라 각자의 연구 목적에 맞는 프로그램을 만들어서 사용한 것이어서 프랙탈 값이 다양하게 나타날 수 있다.

또한 디지털 구내 방사선 촬영 장치로 촬영한 영상이 아닌 경우 치근단 방사선사진을 디지털화하는 과정에서 영상의 노이즈가 발생하여 결과에 영향을 미칠 수 있으며 방사선사진 촬영시의 여러 상이한 조건들이 문제가 될 수 있다. Southard 등¹⁹은 방사선사진 촬영시 적은 양의 기하학적 요인의 변화도 프랙탈 차원에 영향을 줄 수 있다고 하였고 Shroot 등^{22,23}은 관심영역의 크기와 모양이 프랙탈 차원에 영향을 미치지만 촬영 각도나 노출시간이나 배열 등에는 영향을 받지 않는다고 하였다. Majumdar 등²⁴은 장골의 현미경 사진을 이용한 프랙탈 분석에서 프랙탈 차원값은 해상도가 감소할수록 따라서 감소한다고 하였다. 그러나 확실한 것은 프랙탈 분석이 골 변화를 나타내는 표식자로서 정량적이고 객관적인 방법이 될 수 있다는 것이다.

본 연구에서 각 부위의 프랙탈 차원을 비교한 결과 치근단 병소 부위의 프랙탈 차원 값은 근관치료를 시행하기 전(L_0)과 치료 후(L_1, L_2)가 시간의 흐름에 따라 확실한 차이가 있음을 보였다. 치근단 병소 부위의 프랙탈 차원 값은 근관치료 후 시간이 지날수록 증가하는 경향을 보였다 (Table 1). 이는 탈회나 염증소견이 있는 골 부위의 프랙탈 차원은 정상 부위와 차이가 있고 또한 골 밀도가 클수록 프랙탈 차원이 증가한다는 Lee 등,¹⁸ Khosrovi 등⁶의 연구결과와 일치하는 것이다. Khosrovi 등⁶의 연구에서 정상 치조골의 프랙탈 차원 값은 2.392 ± 0.02 이고 차 등²⁰의 연구에서는 정상 치조골의 프랙탈 차원 값은 1.986 ± 0.024 이었다. 본 연구에서의 정상 치근단 부위 치조골의 프랙탈 차원 값은 1.1889 ± 0.054 이었는데 이러한 차이는 프랙탈 차원값을 구하는 방법의 차이 때문이라 여겨진다. 또한 치근단 병소 부위와 정상 치근단 부위의 프랙탈 차원 값을 비교한 결과 초진시 (L_0, N_0), 근관치료 시행 6개월 후 (L_1, N_1)와 1년 후 (L_2, N_2) 모두 차이가 있음을 보였다. 그러나 그 차이는 시간이 지날수록 점점 줄어들었다 (Fig. 5). 이것은 치근단 병소 부위가 근관치료 후 점점 정상 치근단 부

위와 동일한 골 밀도에 근접하는 정도로 골 치유가 진행 되는 것을 보여준다. 그러나 근관치료 1년 후에도 치근단 병소 부위(L₂)와 정상 치근단 부위(N₂)의 프랙탈 차원 값 이 차이가 나는 것으로 미루어 보아 치근단 병소 부위의 완전한 골 치유 및 재생은 근관치료 후 수 년이 더 걸려야 할 것으로 여겨진다. 실제로 강 등²⁵의 연구에서 치근단 부위 방사선 투과상이 나타났던 93개의 치아의 근관 치료 후 평균 23.42개월 경과 후에 66개 치아(71.0%)가 완전히 정상골로 치유되었다. 이것은 향후 환자의 지속적인 추적 조사 및 더 많은 연구가 시행되어야 함을 의미한다. Law 등²⁶은 골다공증 환자의 연구에서 프랙탈 분석, 파노라마 분석, 마이크로토크시미터와 pixel intensity 등 네 가지의 방사선사진 분석법들이 서로 상관관계를 가지고 있음을 밝혔고 Wilding 등¹¹은 임플란트 식립 후의 골의 리모델링 을 나타내는데 프랙탈 분석이 유용하다고 하였다. Caligiuri 등²⁷은 골다공증 환자에서 골절 위험 정도를 평가하는데 프랙탈 분석이 도움이 된다고 보고하였고 Majumdar 등²⁴은 인간 척추에서 quantitative CT를 이용하여 골다공증을 구별하고자 할 때 프랙탈 분석이 유용하다고 하였다. 이처럼 프랙탈 분석은 골을 손상시키지 않고 골질을 객관적, 정량적으로 평가할 수 있어 그 유용성이 크며 직접 디지털 구내 방사선 영상을 이용하여 임상적용이 쉬워 앞으로 도 많은 발전이 기대된다. 프랙탈 분석을 이상적인 골 평가 방법으로 간주하기에는 아직 여러 가지 문제점이 있지만 현재 프랙탈 분석을 이용한 많은 연구가 진행되고 있으므로 프랙탈 분석의 확실한 기준이 정립된다면 방사선학적 디지털 분석에 있어 가장 좋은 방법 중 하나가 될 것이다.

결론적으로 프랙탈 분석으로 염증조건이 있는 골의 밀도나 변화를 인지할 수 있었으며 본 연구에서 치근단 병소 치유과정의 골 변화를 프랙탈 분석을 통해 정량적으로 인지할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Mandelbrot BB. The fractal geometry of nature. 3rd ed. New York: Freeman; 1983.
2. West BJ, Goldberger AL. Physiology in fractal dimensions. AM Scientist 1987; 75 : 354-65.
3. Lynch JA, Hawkes DJ, Buckland-Wright JC. A robust and accurate method for calculating fractal signature of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees. Med Inform 1991; 16 : 241-51.
4. Lynch JA, Hawkes DJ, Buckland-Wright JC. Analysis of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees using fractal signature. Phys Med Biol 1991; 21 : 709-22.
5. Ruttimann UE, Ship JA. The use of fractal geometry to quantitative bone structure from radiography. J Dent Res 1990; 69 : 287. Abstract #1431.
6. Khosrovi PM, Kahn AJ, Majumdar HK, Genant CA. Fractal analysis of dental radiographs to assess trabecular bone structure. J Dent Res 1994; 73 : 173. Abstract #1294.
7. 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.
8. Buckland-Wright JC, Lynch JA, Rymer J, Fogelman I. Fractal signature analysis of macroradiographs measures trabecular organization in lumbar vertebrae of postmenopausal women. Calcif Tissue Int 1994; 54 : 106-12.
9. Lundahl T, Ohley WS, Kay SM, Siffert R. Fractional Brownian-motion: a maximum likelihood estimator and its application to imaging texture. IEEE Trans Med Imaging 1986; 5 : 152-61.
10. van der Stelt PF, Geraets WGM. Use of the fractal dimension to describe the trabecular pattern of osteoporosis. J Dent Res 1990; 69 : 289. Abstract #1431.
11. Wilding RJC, Slabbert JCG, Kathree H, Owen CP, Chrombi K, Delport P. The use of fractal analysis to reveal remodeling in human alveolar bone following the placement of dental implant. Arch Oral Biol 1995; 40 : 61-72.
12. Bender IB, Steltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesion of bone I. J Am Dent Assoc 1961; 62 : 152-60.
13. Brynolf I. Radiography of the periapical region as a diagnostic aid. I. Diagnosis of marginal changes. Dent Radiogr Photogr 1979; 52 : 25-47.
14. Goldman M, Pearson AH, DarZenta N. Endodontic success-Who's reading the radiograph? Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1972; 33 : 432-7.
15. Kalebo P, Strid KG. Radiographic videodensitometry for quantitative monitoring of experimental bone healing. Br J Radiol 1989; 62 : 883-9.
16. 김은경. 디지털 공제술에서 비표준화 방사선사진의 대조도 및 기하학적 보정에 관한 연구. 대한구강악안면방사선학회지 1998; 28 : 797-809.
17. Kalse MJ, Klein AJ. Television radiographic evaluation of periapical osseous radiolucencies. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1976; 41 : 789-96.
18. Lee KI, Choi SC, Park TW, You DS. Fractal dimension calculated from two types of region of interest. Dentomaxillofac Radiol 1999; 28 : 284-9.
19. Southard TE, Southard KA, Jakobson JR, Hillis SL, Najim CA. Fractal dimension in radiographic analysis of alveolar process bone. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1996; 82 : 569-76.
20. 차상윤, 한원정, 김은경. 치주질환 진단시 프랙탈 분석의 유용성에 관한 연구. 대한구강악안면방사선학회지 2001; 31 : 35-42.
21. Garaets WGM, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. Dentomaxillofac Radiol 2000; 29 : 144-53.
22. 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.
23. 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.
24. Majumdar S, Weinstein RS, Prasad RR. Application of fractal geometry techniques to the study of trabecular bone. Med Pys 1993; 20 : 1611-9.
25. 강병철, 권혁춘, 유동수. 근관치료에 관한 방사선학적 연구. 대한구강악안면방사선학회지 1985; 15 : 41-9.
26. Law AN, Bollen MR, Chen SK. Detecting osteoporosis using dental radiographs. A comparison of four methods. J Am Dent Assoc 1996; 27 : 1734-42.
27. Caligiuri P, Giger ML, Favus M. Multifractal radiographic analysis of osteoporosis. Med Phys 1994; 21 : 503-8.