

# 노출 시간과 영상 해상도가 프랙탈 차원값에 미치는 영향

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 치학연구소  
\*서울대학교 치과대학 구강해부학교실 및 치학연구소  
\*\*서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, 치학연구소 및 BK 21, \*\*\*한림대학교 정보통신학과  
안병모 · 허민석 · 이승표\* · 이삼선\*\* · 최순철\*\* · 박태원 · 김종대\*\*\*

## Effect of exposure time and image resolution on fractal dimension

Byung-Mo An, Min-Suk Heo, Seung-Pyo Lee\*, Sam-Sun Lee\*\*, Soon-Chul Choi\*\*,  
Tae-Won Park, Jong-Dae Kim\*\*\*

*Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology and Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University*

*\*Dept. of Oral Anatomy and Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University*

*\*\*Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental Research Institute, and BK21, College of Dentistry, Seoul National University*

*\*\*\*Division of Information and Communication Engineering, Hallym University*

### ABSTRACT

**Purpose** : To evaluate the effect of exposure time and image resolution on fractal dimension calculations for determining the optimal range of these two variances.

**Materials and Methods** : Thirty-one radiographs of the mandibular angle area of sixteen human dry mandibles were taken at different exposure times (0.01, 0.08, 0.16, 0.25, 0.40, 0.64, and 0.80 s). Each radiograph was digitized at 1200 dpi, 8 bit, 256 gray level using a film scanner. We selected an Region of Interest (ROI) that corresponded to the same region as in each radiograph, but the resolution of ROI was degraded to 1000, 800, 600, 500, 400, 300, 200, and 100 dpi. The fractal dimension was calculated by using the tile-counting method for each image, and the calculated values were then compared statistically.

**Results** : As the exposure time and the image resolution increased, the mean value of the fractal dimension decreased, except the case where exposure time was set at 0.01 seconds ( $\alpha = 0.05$ ). The exposure time and image resolution affected the fractal dimension by interaction ( $p < 0.001$ ). When the exposure time was set to either 0.64 seconds or 0.80 seconds, the resulting fractal dimensions were lower, irrespective of image resolution, than at shorter exposure times ( $\alpha = 0.05$ ). The optimal range for exposure time and resolution was determined to be 0.08-0.40 seconds and from 400-1000 dpi, respectively.

**Conclusion** : Adequate exposure time and image resolution is essential for acquiring the fractal dimension using tile-counting method for evaluation of the mandible. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2002; 32 : 75-9)

**KEY WORDS** : fractals; radiography, dental, digital; x-ray film

## 서론

Mandelbrot<sup>1</sup>에 의해 프랙탈 개념이 소개된 이래 프랙탈

분석법은 영상 분석에 널리 이용되고 있다. 의학 및 치의학 분야에서 프랙탈 차원값 측정은 비침습적이고 저렴한 골 구조 분석법이 될 수 있으며,<sup>2</sup> 골다공증이나 치주염 환자에서 골소주의 유형 및 변화의 분석에 이용되고 있다.<sup>3-8</sup>

영상의 프랙탈 차원값을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있으며, 방법별로 척도가 되는 변수의 정의와 측정되는 값이 다르기 때문에 측정되는 영상의 프랙탈 차원값은 차이를 보이게 된다.<sup>9,10</sup> 또한, 실제 임상에서는 촬영 시와 영상 처리 시의 여러 요인들이 영상 정보에 영향을 미칠 수

This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea(01-PJ5-PG1-01CH12-0002).  
접수일 : 2002년 3월 13일      채택일 : 2002년 4월 24일  
Correspondence to : Prof. Soon-Chul Choi  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University, 28 Yongon-Dong, Chongno-Gu, Seoul, 110-749, KOREA  
Tel) 82-2-760-3498, Fax) 82-2-744-3919  
E-mail) raychoi@snu.ac.kr

있고 측정되는 프랙탈 차원값에도 영향을 미치게 되는데, 이를 밝히기 위한 다수의 연구가 있었다. Ruttiman 등<sup>7</sup>은 방사선사진 촬영시의 조사각도는 프랙탈 차원값에 영향을 미치지 않는다고 하였으나, Southard 등<sup>8</sup>은 방사선사진 촬영 시 적은 양의 기하학적 요인의 변화도 프랙탈 차원값에 영향을 미친다고 하였다. Shrouf 등<sup>11</sup>은 프랙탈 차원값은 방사선 노출량이나 적은 양의 조사각도 변화에 의해서는 영향을 받지 않는다고 하였고 Majumdar 등<sup>12</sup>은 현미경 사진을 이용한 실험에서 프랙탈 차원값은 해상도가 감소할수록 감소하였다고 보고하였다. 그러나, 치과 분야에서 많이 사용되는 No. 2 X선 필름을 이용하여 임상적으로 중요한 변수인 노출 시간과 digitization 시의 해상도를 동시에 연구하여 이들 간의 상호 관계 및 적정 범위를 제시한 연구는 없었다.

본 연구에서는 치근단 방사선사진을 이용하여 노출 시간과 해상도가 프랙탈 차원값에 미치는 영향을 알아보고, 두 조건의 적정 범위를 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 방사선사진의 촬영

16개의 인간 건조 하악골에서 31곳의 하악각 부위에

No. 2 X선 필름(Insight, Eastman Kodak Co., N.Y.)을 위치시키고 구내방사선 촬영기(Heliudent DS, Siemens Co., Germany)를 이용하여 7 mA, 70 kVp의 조건에서 7가지(0.01, 0.08, 0.16, 0.25, 0.40, 0.64, 0.80초)로 노출 시간을 변화시켜 방사선사진을 촬영하였다(Fig. 1). 촬영 시 필름-초점간 거리는 40 cm로 일정하게 하였고 동일 부위 촬영 시 관구와 필름의 위치가 동일하도록 하였다. 촬영된 필름은 자동현상기(Periomat, Dürr Dental, Germany)로 현상하였다.

### 2. 영상 처리 및 프랙탈 차원값 계산

현상된 방사선사진을 35 mm 필름 스캐너(RFS 3600 film

Table 1. The pixel size of ROI at each resolution

Resolution (dpi)	Pixel size
1200	360 × 360
1000	300 × 300
800	240 × 240
600	180 × 180
500	150 × 150
400	120 × 120
300	90 × 90
200	60 × 60
100	30 × 30

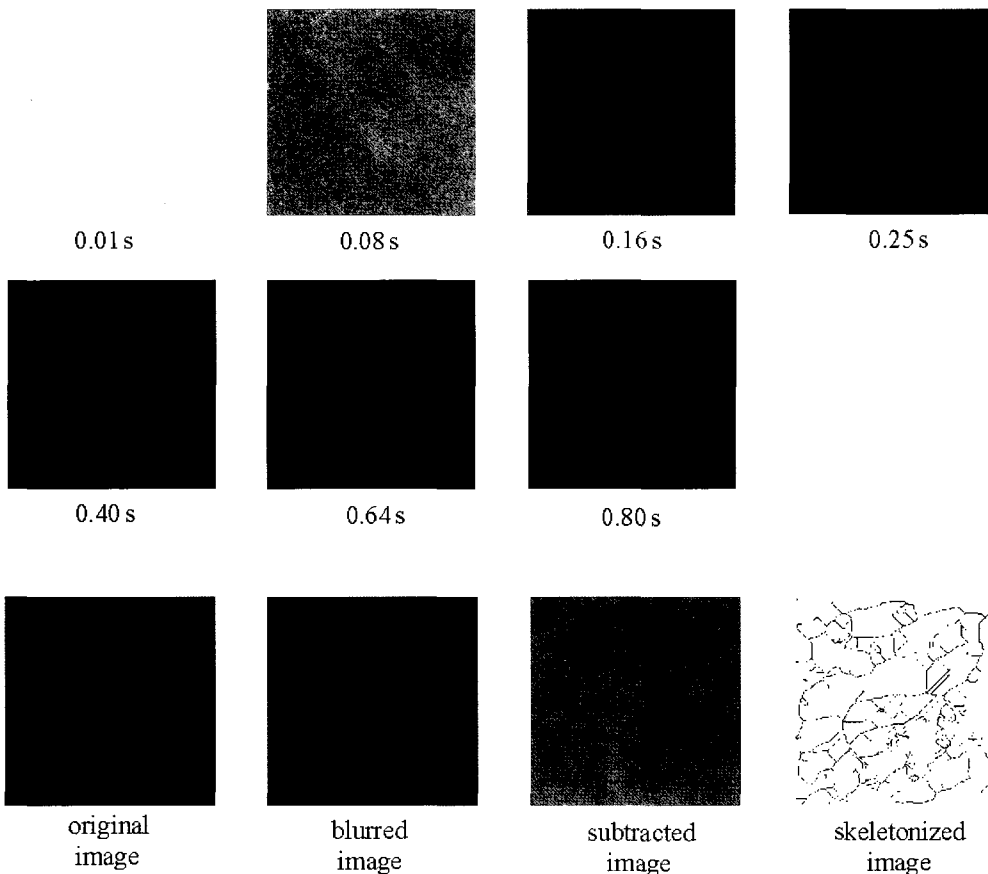


Fig. 1. Samples of radiographs at each exposure time.

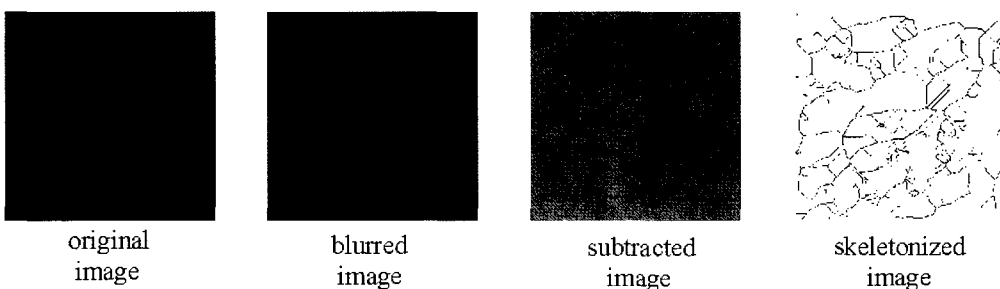


Fig. 2. Samples of images at each step of image processing.

**Table 2.** The fractal dimension at different exposure time

Duncan grouping	Resolution (dpi)	Mean
A	100	1.383
B	200	1.190
C	300	1.088
D	400	1.023
E	500	0.993
F E	600	0.981
F E	1000	0.974
F E	800	0.969
F	1200	0.958

Means with the same letter are not significantly different.

scanner, Eastman Kodak Co., Taiwan)를 이용하여 1200 dpi, 8비트, 256 음영계조로 디지털화하고, Adobe사의 Photoshop 5.0 프로그램을 이용하여 동일 부위의 영상에 대해서 동일한 관심 영역을 선택하였다. 설정된 관심 영역에 노이즈 제거를 위해 중간값 필터(12 화소)를 적용하였으며, 이로부터 1000, 800, 600, 500, 400, 300, 200, 100 dpi로 해상도를 감소시킨 이미지를 형성하였다. 각 해상도 별 관심 영역의 크기는 Table 1과 같다. Scion image 3b를 이용하여 영상을 처리하였는데, 우선 가우시안 필터(1200 dpi에서 48 화소, 해상도에 따라 비례적으로 감소시킴.)를 적용시켜 미세하거나 중간 규모의 구조를 제거하고 흑화도의 차이가 큰 구조만 남도록 하였다. 이를 원래의 영상에서 공제하여 128을 가산한 후 명도 값 128을 역치로 하여 이원 영상을 만들고, 골격화 영상으로 전환한 후(Fig. 2), 매크로 언어를 작성하여 타일차원 계산법(tile-counting method)을 통해 프랙탈 차원값을 구하였다.

### 3. 통계 분석

얻어진 프랙탈 차원값을 2-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 사용하여 비교함으로써 두 조건간의 연관성과 적절한 범위를 알아보았다. 본 연구에서는 Duncan's multiple range test 결과 가장 많은 군이 속한 조건을 프랙탈 차원값을 계산하기 위한 적절한 조건으로 정의하였다.

## 결 과

각 노출 시간과 해상도별로 프랙탈 차원값의 평균을 구하고 이를 Duncan's multiple range test를 사용하여 평균의 차이가 유의하지 않은 경우 같은 군으로 분류하였다. 노출 시간 0.01초인 경우를 제외하고 노출 시간이 증가함에 따라서 프랙탈 차원값은 감소하였으며, 해상도가 증가할수록 프랙탈 차원 값은 감소하는 경향을 보였다(Table 2, 3).

2-way ANOVA를 사용하여 노출 시간과 해상도가 프랙

**Table 3.** The fractal dimension at different resolution

Duncan grouping	Exposure time (seconds)	Mean
A	0.08	1.410
B	0.16	1.357
C	0.25	1.321
D	0.40	1.294
D	0.01	1.281
E	0.64	0.548
F	0.80	0.223

Means with the same letter are not significantly different.

**Table 4.** 2-way ANOVA test for interaction between exposure time and resolution

Source	DF	F value	Pr > F
Exposure time * Resolution	48	36.68	< .001

탈 차원값에 영향을 미칠 때 상호작용의 존재 여부를 평가한 결과 서로간에 상호작용이 존재하였다(Table 4).

이러한 결과를 토대로, 노출 시간-해상도의 63개 조합별 프랙탈 차원값의 평균을 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다. 평균의 유의한 차이가 나지 않는 조합을 같은 군으로 분류하였으며, 0.08초-600 dpi, 0.08초-800 dpi, 0.40초-400 dpi, 0.25초-400 dpi, 0.08초-1000 dpi, 0.16초-500 dpi, 0.01초-500 dpi, 0.16초-600 dpi, 0.08초-1200 dpi의 9개 조합에 가장 많은 군이 속한 것으로 나타났다(Table 5).

## 총괄 및 고안

X선이 조직을 통과하는 동안 분포된 골소주의 영향을 받으며<sup>13</sup> 형성된 영상의 프랙탈 차원값을 계산하는 방법에는 여러 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 타일차원 계산법을 이용하였는데, 이 방법은 평면상의 어느 구조에나 적용 가능하며 공간상의 구조에도 적용 가능하다.<sup>14</sup> 타일차원 계산법의 원리는 연속적으로 사각형의 격자를 변의 길이를 증가시켜가며 분석할 영상 위에 중첩시키는 것이다. 그리하여 검은 화소를 포함하는 타일의 수를 M으로 표시하고, 변의 길이를 S로 표시하면 다음과 같은 식이 성립하게 된다:  $M(s) = k \cdot S^{-D}$ . 여기서  $\log(S)$ 에 대해  $\log(M(S))$ 의 그래프를 그리면 기울기  $\beta$ 인 직선을 얻게되며  $D(\text{프랙탈 차원값}) = -\beta$ ,  $1 < D < 2$ 가 된다.

골소주의 프랙탈 차원값은 정해진 것이 아니며<sup>15</sup> 영상 획득 과정 중의 변수들에 의해 변화될 수 있다. 본 연구는 No. 2 X선 필름을 이용한 영상 획득 과정중의 변수들 중 노출 시간과 해상도의 영향을 알아보고, 이 두 변수의 적정 범위를 평가해보고자 하였다. 노출 시간에 따라 필름에 기록되는 골소주의 양과 형태가 다를 수 있으며, 이로 인

**Table 5.** The fractal dimension at different combination of exposure time-resolution

Duncan grouping	Exposure time -Resolution	Mean	Duncan grouping	Exposure time -Resolution	Mean
A	0.08-100	1.908	I KMNL HJ	0.40-500	1.201
A	0.16-100	1.892	I KMNL HJ	0.01-800	1.199
A	0.25-100	1.877	I KMNL J	0.16-1000	1.186
A	0.40-100	1.815	I KMNL J	0.25-600	1.184
B	0.08-200	1.635	I KMNL J	0.16-1200	1.180
C B	0.16-200	1.582	KMNL J	0.25-800	1.169
C B	0.25-200	1.555	KMNL J	0.01-1200	1.169
C B D	0.40-200	1.527	KMNL	0.40-600	1.165
CEB D	0.01-100	1.488	KMNL	0.25-1000	1.146
CE FD	0.08-300	1.447	KMNL	0.25-1200	1.137
GE FD	0.16-300	1.390	MNL	0.40-800	1.132
GE FD	0.01-200	1.389	MN	0.40-1000	1.109
GE F H	0.08-400	1.365	N	0.40-1200	1.091
IGE F H	0.25-300	1.357	O	0.64-1000	0.635
IGE F H	0.01-300	1.355	O	0.64-1200	0.623
IGE F HJ	0.40-300	1.347	O	0.64-800	0.560
IGK F HJ	0.08-500	1.315	O	0.64-600	0.550
IGK FL HJ	0.16-400	1.301	O	0.64-100	0.528
IGKMFL HJ	0.08-600*	1.285	O	0.64-300	0.524
IGKM L HJ	0.01-400	1.276	O	0.64-400	0.515
IGKMNL HJ	0.08-800*	1.268	O	0.64-500	0.501
IGKMNL HJ	0.40-400*	1.262	O	0.64-200	0.496
IGKMNL HJ	0.25-400*	1.256	P	0.80-1000	0.297
IGKMNL HJ	0.08-1000*	1.245	P	0.80-1200	0.283
IGKMNL HJ	0.16-500*	1.245	P	0.80-800	0.245
IGKMNL HJ	0.01-500*	1.240	P	0.80-600	0.244
IGKMNL HJ	0.16-600*	1.229	P	0.80-500	0.238
IGKMNL HJ	0.08-1200*	1.226	P	0.80-300	0.199
I KMNL HJ	0.25-500	1.213	P	0.80-400	0.186
I KMNL HJ	0.16-800	1.213	P	0.80-100	0.171
I KMNL HJ	0.01-600	1.210	P	0.80-200	0.146
I KMNL HJ	0.01-1000	1.202			

Means with the same letter are not significantly different.

\* : the exposure time-resolution that most groups belong

해 일종의 골소주의 복잡도를 나타내는 프랙탈 차원값은 노출 시간의 영향을 받을 것임을 예상해 볼 수 있다. No. 2 X선 필름은 비증감지용 필름으로써, 일반적으로 파노라마 방사선필름과 증감지를 이용한 경우 mm당 5개의 선쌍을 구별할 수 있으나 치근단 방사선필름은 mm당 최소 10개의 선쌍을 구별해 낼 수 있다.<sup>16,17</sup> 이러한 해상도의 차이는 프랙탈 차원값을 구할 때 증감지용 필름과 No. 2 X선 필름간에 해상도에 의한 영향이나 적정 범위 설정에 있어 차이가 존재할 수 있음을 암시한다.

해상도에 관계없이 노출 시간에 의한 프랙탈 차원값의 변화를 살펴본 결과, 노출 시간 0.01초인 경우를 제외하고는 노출 시간이 증가할수록 프랙탈 차원값은 감소하였다. 이러한 결과는 방사선 노출 정도에 따라 필름에 기록되는 골소주에 대한 정보가 차이가 있으며, 노출 시간이 프랙탈 차원값의 변화에 영향을 미친다는 것을 의미한다. Shroud 등<sup>11</sup>은 프랙탈 차원값이 방사선 노출 정도에 영향을 받지

않는다고 하였는데, 이는 실험 시 계획된 노출 조건이 선택된 촬영 부위의 골소주 정보의 유의한 차이를 보이지 않는 범위 내에 속해 있었기 때문일 수 있으며, 또한 본 연구와는 달리 조사 각도의 변화도 동시에 주었다는 점과 표본 수에서 차이가 있기 때문일 가능성도 배제할 수 없다. 노출 정도에 따른 프랙탈 차원값의 변화는 노이즈에 의한 영향으로 풀이되기도 하는데 Chen 등<sup>18</sup>은 노출 정도가 적거나 많은 경우 양자 노이즈와 디지털화 노이즈에 의해 프랙탈 차원값이 증가한다고 하였다. 그러나, 본 연구에서는 중간값 필터의 사용으로 노이즈에 의한 영향은 배제할 수 있었다.

디지털화된 방사선사진의 프랙탈 차원값을 계산할 때 해상도는 또 하나의 변수가 될 수 있다. 본 연구에서 노출 시간에 관계없이 해상도에 의한 프랙탈 차원값의 변화를 살펴본 결과 해상도가 증가할수록 프랙탈 차원값은 감소하였다. Majumdar 등<sup>12</sup>의 연구에서 해상도를 감소시킬수록

프랙탈 차원값은 감소하였는데, 이러한 차이의 원인 중 하나로 프랙탈 차원값을 구하는 방법의 문제를 들 수 있다. 일반적으로  $\log(S)$ 에 대한  $\log(M(S))$ 의 그래프는 전 구간에서 직선의 형태를 띄지는 않는다. 따라서 프랙탈 차원값을 구하기 위해서는 그래프에서 직선인 구간을 규정해야 하는데,<sup>12</sup> 이 구간을 어떻게 정하는가가 프랙탈 차원값에 영향을 미치게 된다. 본 연구와 Majumdar 등<sup>12</sup>의 연구 모두 정해진 구간에서 직선을 적용시켰는데, 이의 차이가 두 연구 결과의 차이를 야기할 수 있다. 또 본 연구에서는 No. 2 X선 필름을 이용한 반면 Majumdar 등<sup>12</sup>은 현미경사진을 이용하여, 일차적으로 정보를 기록한 이들 매체 자체의 해상력 차이에 의해 기록된 정보의 양이 다르기 때문일 수 있다.

결과 중 흥미로운 것은 노출 시간과 해상도가 프랙탈 차원값에 영향을 미칠 때 서로간에 상호작용이 존재한다는 것이다. 따라서 노출 시간과 해상도를 동시에 고려하여 이들의 조합별 프랙탈 차원값의 평균을 구하고 Duncan's multiple range test를 시행하게 되었다. Table 5에서 노출시간이 0.64, 0.80초인 경우 해상도에 관계없이 다른 조건에서 촬영된 방사선사진보다 프랙탈 차원값이 낮음을 알 수 있다. 이는 해상도와 상호작용으로 보상할 수 없을 만큼 절대적으로 영상 정보의 양이 적음을 나타낸다. 본 연구에서는 Duncan's multiple range test 결과 가장 많은 군이 속한 조건을 프랙탈 차원값을 계산하기 위한 적절한 조건으로 정의하였는데 이를 Table 5에 표시하였다. 이 결과를 바탕으로, 극단적인 조건을 제외하면 노출 시간은 0.08~0.40초, 해상도는 400~1000 dpi의 조건이 프랙탈 차원값을 평가하기 위한 적정 조건이라고 할 수 있다.

본 연구를 통해서 노출 시간과 해상도가 No. 2 X선 필름을 이용한 프랙탈 차원값 측정에 영향을 미치며, 두 조건의 적정 범위가 존재함을 확인할 수 있었다. 그러나 부위가 치과 분야의 관심 영역인 치조골 부위가 아니라는 점과 각 해상도 별 영상을 개별적으로 디지털화하지 않고 컴퓨터 프로그램을 이용한 점은 본 연구의 단점으로 지적될 수도 있다. 프랙탈 분석법의 보다 많은 임상 적용을 위해서는 이런 단점을 보완함과 동시에 조건을 좀 더 세분화한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Mandelbrot BB. The fractal geometry of the nature. New York: WH

- Freeman and Company, 1983.
2. Caligiuri P, Giger ML, Favus M. Multifractal radiographic analysis of osteoporosis. *Med Phys* 1994; 21 : 503-8.
  3. Weinstein RS, Majumdar S. Fractal geometry and vertebral compression fractures. *J Bone Miner Res* 1994; 9 : 1797-802.
  4. Majumdar S, Genant HK, Grampp S, Newitt DC, Truong VH, Lin JC, et al. Correlation of trabecular bone structure with age, bone mineral density, and osteoporotic status: in vivo studies in the distal radius using high resolution magnetic resonance imaging. *J Bone Miner Res* 1997; 12 : 111-8.
  5. Kaufman JJ, Hakim N, Nasser P, Mont M, Klion M, Pilla AA, et al. Application of digital image processing and pattern recognition to diagnosis of osteoporosis. *IEEE Proceedings of the Annual Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society* 1987; 9 : 1334-5.
  6. Berry JL, Towers JD, Webber RL, Pope TL, Davidai G, Zimmerman M. Change in trabecular architecture as measured by fractal dimension. *J Biomech* 1996; 29 : 819-22.
  7. Ruttimann UE, Webber RL, Hazelrig 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.
  8. Southard TE, Southard KA, Jakobsen 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.
  9. Sarkar N, Chaudhuri BB. An efficient approach to estimate fractal dimension of textural images. *Pattern Recog* 1992; 25 : 1035-41.
  10. Huang Q, Lorch JR, Dubes RC. Can the fractal dimension of images be measured? *Pattern Recog* 1994; 27 : 339-49.
  11. 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.
  12. Majumdar S, Weinstein RS, Prasad RR. Application of fractal geometry techniques to the study of trabecular bone. *Med Phys* 1993; 20 : 1611-9.
  13. Law AN, Bollen AM, Chen SK. Detecting osteoporosis using dental radiographs: a comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996; 127 : 1734-42.
  14. Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. Chaos and fractals: new frontiers of science. New York: Springer-Verlag, 1992.
  15. Chung HW, Chu CC, Underweiser M, Wehrli FW. On the fractal nature of trabecular structure. *Med Phys* 1994; 21 : 1535-40.
  16. Thunthy KH, Manson-Hing LR. A study of the resolution of dental films and screens. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1976; 42 : 255-66.
  17. Sivasriyanond C, Manson-Hing LR. Microdensitometric and visual evaluation of the resolution of dental films. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1978; 45 : 811-22.
  18. Chen J, 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.