

치근단 및 파노라마 방사선사진에서 프랙탈 분석을 이용한 골다공증 예측

부산대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
김주연 · 정연화 · 나경수

Prediction of osteoporosis using fractal analysis on periapical and panoramic radiographs

Joo-Yeon Kim, Yun-Hoa Jung, Kyung-Soo Nah

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Pusan National University

ABSTRACT

Purpose : The purpose of this study was to investigate whether fractal analysis of periapical and panoramic radiographs was useful in predicting osteoporosis risk.

Materials and Methods : 37 postmenopausal women between the age of 42 and 79 were classified as normal and osteoporosis group according to the bone mineral density of lumbar vertebrae and periapical and panoramic radiographs were taken. Fractal dimensions at periapical areas of mandibular first molars were calculated to differentiate the two groups.

Results : The mean fractal dimensions of normal group on periapical and panoramic radiographs were 1.413 ± 0.079 , 1.517 ± 0.071 each. The mean fractal dimensions of osteoporotic group on periapical and panoramic radiographs were 1.498 ± 0.086 , 1.388 ± 0.083 each. The mean fractal dimension from periapical radiographs of osteoporotic group was statistically significantly higher than that of normal group. The mean fractal dimension from panoramic radiographs of osteoporotic group was statistically significantly lower than that of normal group.

Conclusion : Fractal analysis using periapical and panoramic radiographs was useful in predicting osteoporosis. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2008; 38 : 147-51)

KEY WORDS : Osteoporosis; Fractal Dimension; Radiography; Dental

서 론

골다공증은 대개 50세 이상의 남녀에서 지속적으로 나타나는 생리적인 골소실을 말하는 것으로서 위험인자로 성별, 연령, 내분비기능, 생활방식, 폐경연령 등이 있으며 65세 이상 백인여성의 약 1/3에서 관찰될 정도로 흔하다.¹ 이때 골밀도 저하와 미세 골구조의 파괴가 골절을 초래할 수 있으므로 예방을 위한 진단이 중요하게 된다.² 골강도를 평가하는 가장 흔한 방법은 골강도의 80%를 좌우하는 골밀도를 비침습적으로 측정하여 골량의 감소를 모니터링하는 것이다.³ 전신적인 골밀도 측정에는 비용이 비싸기는 하지만 짧은 촬영시간 및 정확성을 갖춘 이중에너지 방사

선 흡수계측법 (Dual energy X-ray absorptiometry: DEXA)이 가장 널리 사용되고 있으며 주로 요추와 대퇴골 경부를 촬영한다.⁴

전신적인 골다공증과 악골 소실 간의 관련 가능성은 1960년부터 제시되었고 악골의 골밀도를 측정하여 이들을 골격의 다른 부분들과 비교하는 연구들이 많이 있었다.^{1,5-7} 일반적으로 골다공증이거나 요추와 대퇴골의 골밀도가 낮은 사람들이 악골의 골량 감소를 보였으며,⁸⁻¹¹ 골다공증 성 골절을 가진 사람에게서 하악골 무기질량의 감소도 관찰되었다.^{12,13} Southard 등¹⁴은 정상 여성에서 상악 치조돌기의 밀도가 하악 치조돌기, 요추, 고관절부 및 요골의 밀도와 유효한 관계가 있으며 상악 치조돌기의 골밀도가 연령 증가에 따라 감소하는 것을 발견하였다. 또한 Jacobs 등¹⁵은 대퇴부와 척추의 골밀도가 임플란트 시술 시 악골 골밀도의 지표가 될 수 있다고도 하였다.

악골의 골밀도 측정은 구강 내에서 DEXA^{16,17}나 정량적 전

접수일 (2008년 7월 11일), 수정일 (2008년 7월 31일), 채택일 (2008년 8월 4일)
Correspondence to : Prof. Kyung-Soo Nah
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Pusan National University, 1-10 Amidong, Seoku, Busan 602-739, Korea
Tel) 82-51-240-7595, Fax) 82-51-245-8388, E-mail) ksnah@pusan.ac.kr

산화 단층 촬영법 (quantitative computed tomography, QCT)⁸을 이용한 경우가 있지만 접근성 및 적합성이 전신골격에 비하여 낮다. 따라서 악골에서의 골다공증 평가를 위한 연구는 주로 치근단^{3,11,12,18-21} 및 파노라마 방사선사진^{2,4,22-29}을 대상으로 해면골 및 피질골의 형태 관찰이나 두께 계측을 하는 것이었다. White 등^{20,30}은 정상인에 비해 골다공증 환자의 치근단 방사선사진에서 골소주의 형태변화가 있다고 하면서 악골의 골밀도 계측보다는 골소주의 형태 변화가 골다공증을 더 잘 나타내어 줄 수 있는 지표라고 하였다. 복잡한 해면골 구조를 일정 범위의 수치로 표현하는 프랙탈 분석을 통한 골소주 형태변화 관찰에 관하여서는 많은 연구^{19,21,31-34}에서 이러한 프랙탈 차원 값이 치조골의 골밀도와 연관이 있다고 보고하고 있다. Southard 등^{31,34}은 탈회와 상악골 방사선사진 골소주 프랙탈 차원 감소가 강한 상관관계를 보인다고 하였다. 박 등³⁵은 악교정 수술 후에 수술부위의 방사선학적 변화를 프랙탈 분석을 이용하여 평가한 후 치유시간이 지남에 따라 프랙탈 차원 값이 증가하는 것을 관찰하고 프랙탈 분석이 수술 후 골치유를 평가하는 유용한 수단이 될 수 있을 것이라고 하였다. Jolley 등²¹은 치근단 방사선사진에서 촬영각도, 관전압, 노출 시간의 요소가 프랙탈 차원 값에 영향을 주지 않는다고 하였다. Shroud 등³⁶은 치주염 환자의 하악 방사선사진을 대상으로 한 연구에서 프랙탈 분석이 치은염군과 치주염군을 구분하기 위해 사용될 수 있으며, 표준화되지 않은 임상 방사선사진을 대상으로 할 수도 있으며 치은염 환자의 프랙탈 차원 값은 3개월 후에도 재현성이 있음을 발견하였다.

본 연구는 치과에서 흔히 촬영되는 방사선사진에서 측정된 프랙탈 차원 값이 전신적인 골격의 골다공증 유무를 예측하는 데 유용하게 사용될 수 있는지를 평가하고자 하는 것이다. 지금까지 환자의 치근단 방사선사진^{2,3} 및 파노라마 방사선사진^{4,29} 각각을 대상으로 한 프랙탈 분석 연구는 있어왔으나 동일 환자의 치근단 및 파노라마 방사선사진을 대상으로 한 프랙탈 차원 비교연구는 없었다. 따라서 이 연구에서는 폐경 이후 여성을 대상으로 촬영된 치근단 및 파노라마 방사선사진상에서 골다공증 예측지표의 하나로 알려진 프랙탈 분석을 통하여 정상군과 골다공증군을 구별할 수 있는지를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

42-79세 (평균 63.4±7.9세)의 척추 또는 고관절부 골절의 병력이 없는 폐경 이후 여성 37명을 대상으로 키와 몸무게를 측정한 후 이중에너지 방사선 흡수계측법 (DEXA, LUNAR Prodigy, Lunar Corporation, Madison, WI, USA)으

로 첫 번째 요추에서 네번째 요추까지의 골밀도를 측정하고 그 평균값을 T-score에 의한 세계보건기구 (WHO) 분류에 의하여 정상군 및 골다공증군으로 분류하였다. 이들을 대상으로 좌우측 대구치 부위에서 치근단 방사선사진 및 파노라마 방사선사진을 촬영한 후, 이 74매의 치근단 방사선사진과 37매의 파노라마 방사선사진을 연구재료로 하였다.

2. 방사선사진 촬영

치근단 방사선사진은 7 mA, 60 kVp DC로 고정된 Heliodent-DS (Sirona, Bensheim, Germany) 촬영장치로 촬영하였고 CCD 직접 디지털 영상기구인 CDX 2000HQ (Biomedisys Co., Seoul, Korea) 시스템으로 디지털 영상을 얻었다. CCD 센서의 active receptor area는 30 mm×20 mm, pixel matrix는 672×448이며, 획득된 상은 Window JPEG 파일로 저장하였다.

파노라마 방사선사진은 PM 2002 CC (Planmeca, Helsinki, Finland) 촬영장치 및 Konica 필름 (Konica Co., Japan)으로 얻은 후 Fuji 현상기 (Fuji Co., Japan)로 현상하였다. 이 파노라마 방사선사진을 16비트 300 dpi의 해상도로 스캔 (EPSON PERFECTION 4990 PHOTO)하여 디지털화하였다.

3. 프랙탈 차원 분석

Adobe사의 Photoshop 프로그램 (Ver 7.0, Adobe systems Inc, San Jose, Calif)을 이용하여 치근단 및 파노라마 방사선사진의 좌우 하악 제1대구치 치근단부위에 50×50 픽셀 크기의 관심영역 (Region of interest, ROI)을 선택하여 총 148개의 영상을 얻었다.

모든 ROI 영상을 White & Rudolph¹³⁰에 의해 고안된 방법을 이용하여 다음과 같이 처리하였다. 우선 Photoshop 프로그램을 이용하여 선택된 각각의 ROI들을 가우시안 필터 (Gaussian filter, sigma=35 pixel)를 적용시켜 미세하거나 중간규모의 구조를 제거하고 흑화도의 차이가 큰 구조만 남도록 blurring시켰다. 그리고 이 blurred image를 원래의 영상에서 공제하여 128을 가산한 후, Scion image (Beta 4.0.2, Scion Co. NIH, U.S.A.)를 이용하여 명도 값 128을 역치로 하는 이원영상 (binary image)으로 만들었다. 이 이원영상을 한번씩 erosion과 dilation시켜 noise를 감소시켜 준 후 골격화 영상 (skeletonized image)으로 전환하였다.

영상처리를 통하여 얻어진 148개 골격화 영상을 Image J 프로그램 (1.33i NIH, USA)을 이용하여, box-counting method로 프랙탈 차원 값을 계산하였다.

4. 통계 분석

정상군 및 골다공증군에서 각각의 치근단 및 파노라마

Table 1. Clinical features of study subjects

	Normal n=18 mean (SD)	Osteoporosis n=19 mean (SD)	Total n=37 mean (SD)
Age (years)	59.0 (7.2)	67.6 (6.2)	63.4 (7.9)
Weight (kg)	59.6 (6.0)	53.6 (7.5)	56.5 (7.3)
Height (cm)	156.7 (3.7)	153.6 (6.4)	155.1 (5.4)
BMD average (T-score)	0.7 (1.0)	-3.1 (0.6)	-1.2 (2.1)

Table 2. Fractal dimension of ROIs in normal subjects

	Fractal dimension mean (SD)	Number of ROI
Periapical radiographs	1.413 (0.079)*	36
Panoramic radiographs	1.517 (0.071)*	36

*Statistically significant (paired t-test, p<0.01)

Table 3. Fractal dimension of ROIs in osteoporotic subjects

	Fractal dimension mean (SD)	Number of ROI
Periapical radiographs	1.498 (0.086)*	38
Panoramic radiographs	1.388 (0.083)*	38

*Statistically significant (paired t-test, p<0.01)

방사선사진 관심영역 프랙탈 차원 값이 유의한 차이를 보이는지를 평가하기 위해 paired t-test를 실시하였다. 또한 정상군 및 골다공증군 간의 치근단 및 파노라마 방사선사진 관심영역 프랙탈 차원 값이 유의한 차이를 보이는지를 평가하기 위하여서는 independent t-test를 실시하였다.

결 과

1. 연구대상

연구대상의 연령분포, 몸무게, 키 및 BMD 평균치 T-score는 Table 1과 같았다.

2. 프랙탈 차원 분석

정상군의 구내방사선사진 프랙탈 평균값은 1.413±0.079, 파노라마 방사선사진 프랙탈 평균값은 1.517±0.071로서 파노라마 방사선사진의 프랙탈 값이 구내방사선사진의 프랙탈 값보다 통계적으로 유의성있게 높았다(p<0.01, Table 2). 골다공증군의 구내방사선사진 프랙탈 평균값은 1.498±0.086, 파노라마방사선사진 프랙탈 평균값은 1.388±0.083으로서 구내방사선사진의 프랙탈 차원 값이 파노라마 방사선사진의 프랙탈 차원 값보다 통계적으로 유의성있게 높았다(p<0.01, Table 3). 정상군 및 골다공증군 간의 구내

Table 4. Fractal dimension of periapical ROIs in normal and osteoporotic subjects

	Fractal dimension mean (SD)	Number of ROI
Normal BMD subjects	1.413 (0.079)*	36
Osteoporotic BMD subjects	1.498 (0.086)*	38

*Statistically significant (independent t-test, p<0.01)

Table 5. Fractal dimension of panoramic ROIs in normal and osteoporotic subjects

	Fractal dimension mean (SD)	Number of ROI
Normal BMD subjects	1.517 (0.071)*	36
Osteoporotic BMD subjects	1.388 (0.083)*	38

*Statistically significant (independent t-test, p<0.01)

Table 6. Fractal dimension of ROIs in normal and osteoporotic subjects

	Fractal dimension in normal subjects mean (SD)	Fractal dimension in osteoporotic subjects mean (SD)	Number of ROI
Periapical radiographs	1.413 (0.079)*†	1.498 (0.086)**†	74
Panoramic radiographs	1.517 (0.071)*†	1.388 (0.083)**†	74
Number of ROI	72	76	148

***Statistically significant (paired t-test, p<0.01)

*† Statistically significant (independent t-test, p<0.01)

방사선사진 프랙탈 차원값은 골다공증군에서 통계적으로 유의성있게 높았다(p<0.01, Table 4). 정상군 및 골다공증군 간의 파노라마 방사선사진 관심영역 프랙탈 차원 값은 정상군에서 통계적으로 유의성 있게 높았다(p<0.01, Table 5). Table 6은 정상군 및 골다공증군의 구내 및 파노라마 방사선사진 프랙탈 차원 값과 각각의 통계적 유의성을 전체적으로 보여준다.

고 찰

Jett 등¹⁸은 하악골을 이용한 실험적 연구에서 해면골을 많이 삭제할수록 촬영된 방사선사진상에서 계산된 프랙탈 차원 값이 감소하는 것을 발견하였다. Southard 등³¹은 방사선사진에서 치조골 부분의 ROI를 잡았을 때 표면이 불규칙한 정도가 프랙탈 차원으로 정량화된다고 하면서 상악골 탈회표본을 이용한 실험연구에서 무기질량이 감소함에 따라 프랙탈 차원은 감소하는 것으로 나타났으므로 골다공증군의 프랙탈 차원 값이 정상군에 비하여 낮게 나온 것은 골량의 감소를 의미하는 것으로 생각된다고 하였다.

하지만 지금까지의 연구결과들은 프랙탈 차원 값이 연령, 탈회 혹은 골다공증이 심해지면서 증가하거나³⁷⁻³⁹ 감소하는 것^{31,32,40}으로 상반되게 보고되었다.

본 논문의 결과를 보면 치근단 및 파노라마 방사선사진 각각의 프랙탈 차원 값은 정상과 골다공증을 구별할 수 있을 정도로 유효한 차이를 보이고 있지만 동일한 환자의 치근단 및 파노라마 방사선사진의 프랙탈 차원은 반대의 값을 보이고 있다. 즉 치근단 방사선사진의 프랙탈 차원 값은 낮을수록 정상 골을 의미하며 높을수록 골다공증이 의심되는 반면 파노라마 방사선사진의 프랙탈 차원 값은 높을수록 정상골을 의미하며 낮을수록 골다공증이 의심되는 것으로 나왔다.

Tosoni 등⁴은 위치와 밀도 표준화를 고려한 파노라마 방사선사진에서 하악각 부위의 프랙탈 분석을 하여 정상과 골다공증 가능성이 있는 군에서 통계적으로 유의한 차이를 발견하지는 못하였지만 골다공증군의 프랙탈 차원 값이 1.33으로 정상군의 프랙탈 값인 1.34보다 낮은 것을 관찰함으로써 본 논문과 같은 결과를 보여 주었다. Yaşar와 Akgünlü²는 치근단 방사선사진에서 정상과 골다공증군의 프랙탈 차원 값을 구하여 두 군 간에 통계적 유의성이 없다고 하였지만 골다공증군의 평균값(1.40±0.0731)이 정상군(1.39±0.056)에 비하여 높은 것을 관찰함으로써 본 논문의 결과와 일치하였다. 그들은 다른 연구³에서 유치악과 무치악 부위의 치근단 방사선사진 프랙탈 차원을 조사하여 유치악 부위의 프랙탈 차원 값은 1.3623±0.4088, 무치악 부위의 프랙탈 차원 값은 1.6512±0.3372라고 함으로써 교합력이 없는 무치악 부위의 프랙탈 차원 값이 높은 것을 발견하였다. 본 논문에서 프랙탈 차원 값이 치근단 및 파노라마 방사선사진 모두에서 정상과 골다공증군 간에 통계적으로 유의성 있는 차이를 보인 것은 연구대상의 BMD 평균의 차이가 컸기 때문이었을 것이다. 그러므로 프랙탈 분석으로 골다공증의 예측을 하고자 하는 경우 동종의 방사선사진을 대상으로 하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

골다공증이 치아상실과 치주부착 및 잔존치조고경 감소를 어떻게 초래하는 지에 대한 명확한 증거는 없을지라도 구강 및 악안면 조직들이 영향을 받는 것은 확실하다. Drozdowska 등⁴¹은 폐경기 여성을 대상으로 28개월간의 연구를 한 결과 DEXA로 측정된 하악골의 소실이 다른 골 부위보다 훨씬 더 높음을 보여주었고 Yang 등⁴²은 에스트로겐 부족은 쥐의 하악골과 경골에서 16주 이내에 해면골의 미세구조의 변화를 초래하였으며 하악골에서 골수의 크기와 해면골의 형태는 장골에서의 골다공증적인 변화와 상관관계를 보였다고 하였다. White 등²⁰은 하악 전치부의 치근단 방사선사진에서 추출한 골격 영상에서 node-to-terminus struts의 평균 길이가 짧을수록 골반 골절율이 유효하게 증가하는 것을 관찰하였다. 그러므로 전신적인 골다공증과

악골 및 구강 건강과의 관계에 대한 것은 계속적으로 연구되어야 할 주제임에 분명하다. 또한 치과의사는 이미 확보한 자료를 이용하여 골다공증이 의심되는 환자들을 선별할 수 있어야 한다. 이러한 선별과정은 골다공증을 진단하는 것보다는 골다공증 위험인자를 가진 환자를 확인하여 전문 의료진에게 의뢰할 수 있다는 의미가 될 것이다.

참 고 문 헌

1. von Wöern N. General and oral aspects of osteoporosis: a review. Clin Oral Invest 2001; 5 : 71-82.
2. Yaşar F, Akgünlü F. The differences in panoramic mandibular indices and fractal dimension between patients with and without spinal osteoporosis. Dentomaxillofac Radiol 2006; 35 : 1-9.
3. Yaşar F, Akgünlü F. Fractal dimension and lacunarity analysis of dental radiographs. Dentomaxillofac Radiol 2005; 34 : 261-7.
4. Tosoni GM, Lurie AG, Cowan AE, Burleson JA. Pixel intensity and fractal analyses: detecting osteoporosis in perimenopausal and postmenopausal women by using digital panoramic images. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2006; 102 : 235-41.
5. Hildebolt CF. Osteoporosis and oral bone loss. Dentomaxillofac Radiol 1997; 26 : 3-15.
6. White SC. Oral radiographic predictors of osteoporosis. Dentomaxillofac Radiol 2002; 31 : 84-92.
7. Dervis E. Oral implications of osteoporosis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2005; 100 : 39-56.
8. Lindh C, Obrant K, Petersson A. Maxillary bone mineral density and its relationship to the bone mineral density of the lumbar spine and hip. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2004; 98 : 102-9.
9. Horner K, Devlin H, Alsop CW, Hodgkinson IM, Adams JE. Mandibular bone mineral density as a predictor of skeletal osteoporosis. Br J Radiol 1996; 69 : 1019-25.
10. Horner K, Devlin H. Clinical bone densitometric study of mandibular atrophy using dental panoramic radiography. J Dent 1992; 20 : 33-7.
11. Kribbs PJ, Chesnut CH 3rd, Ott SM, Kilcoyne RF. Relationships between mandibular and skeletal bone in an osteoporotic population. J Prosthet Dent 1989; 62 : 703-7.
12. Kribbs PJ. Comparison of mandibular bone in normal and osteoporotic women. J Prosthet Dent 1990; 63 : 218-22.
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. Southard KA, Southard TE, Schlechte JA, Meis PA. The relationship between the density of the alveolar processes and that of postcranial bone. J Dent Res 2000; 91 : 486-91.
15. Jacobs R, Ghyselen J, Koninckx P, van Steenberghe D. Long-term bone mass evaluation of mandible and lumbar spine in a group of women receiving hormone replacement therapy. Eur J Oral Sci 1996; 104 : 10-6.
16. Hildebolt CF, Rupich RC, Vannier MW. Interrelationships between bone mineral content measures. J Clin Periodontol 1993; 20 : 739-45.
17. Horner K, Devlin H. The relationships between two indices of mandibular bone quality and bone mineral density measured by dual energy X-ray absorptiometry. Dentomaxillofac Radiol 1998; 27 : 17-21.
18. Jett S, Shroot MK, Mailhot JM, Potter BJ, Borke JL. An evaluation of the origin of trabecular bone patterns using visual and digital image

- analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 98 : 598-604.
19. Park GM, Jung YH, Nah KS. Prediction of osteoporosis using fractal analysis on periapical radiographs. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 41-6.
 20. White SC, Atchison KA, Gornbein JA, Nattiv A, Paganini-Hill A, Service SK, et al. Change in mandibular trabecular pattern and hip fracture rate in elderly women. *Dentomaxillofac Radiol* 2005; 34 : 168-74.
 21. Jolley L, Majumdar S, Kapila S. Technical factors in fractal analysis of periapical radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 393-7.
 22. Klemetti E, Kolmakov S, Heiskanen P, Vainio P, Lassila V. Panoramic mandibular index and bone mineral densities in postmenopausal women. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993; 75 : 774-9.
 23. Taguchi A, Sueti Y, Ohtsuka M, Otani K, Tanimoto K, Ohtaki M. Usefulness of panoramic radiography in the diagnosis of postmenopausal osteoporosis in women. Width and morphology of inferior cortex of the mandible. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25 : 263-7.
 24. Kim JY, Nah KS, Jung YH. Comparison of panorama radiomorphometric indices of the mandible in normal and osteoporotic women. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2004; 34 : 69-74.
 25. White SC, Taguchi A, Kao D, Wu S, Service SK, Yoon D, et al. Clinical and panoramic predictors of femur bone mineral density. *Osteoporos Int* 2005; 16 : 339-46.
 26. Knezović-Zlatarić D, Čelebić A. Comparison of mandibular bone density and radiomorphometric indices in wearers of complete or removable partial dentures. *Oral Radiol* 2005; 21 : 51-5.
 27. Ay S, Gursoy UK, Erselcan T, Marakoglu I. Assessment of mandibular bone mineral density in patients with type 2 diabetes mellitus. *Dentomaxillofac Radiol* 2005; 4 : 327-31.
 28. Dutra V, Devlin H, Susin C, Yang J, Horner K, Fernandes AR. Mandibular morphological changes in low bone mass edentulous females: evaluation of panoramic radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102 : 663-8.
 29. Kim JY, Nah KS. Prediction of osteoporosis using fractal analysis et cetera on panoramic radiographs. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 79-82.
 30. 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.
 31. 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.
 32. Southard TE, Southard KA, Krizan KE, Hillis SL, Haller JW, Keller J, et al. Mandibular bone density and fractal dimension in rabbits with induced osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89 : 244-9.
 33. Southard TE, Southard KA, Lee A. Alveolar process fractal dimension and postcranial bone density. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 91 : 486-91.
 34. Southard TE, Southard KA. Detection of simulated osteoporosis in maxillae using radiographic texture analysis. *IEEE Trans Biomed Eng* 1996; 43 : 123-32.
 35. Park KS, Heo MS, Lee SS, Choi SC, Park TW, Jeon IS, et al. Radiologic assessment of bone healing after orthognathic surgery using fractal analysis. *Korean J Oral and Maxillofac Radiol* 2002; 32 : 201-6.
 36. 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.
 37. 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.
 38. 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.
 39. Bollen AM, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG. Fractal dimension on dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30 : 270-5.
 40. 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.
 41. Drozdowska B, Pluskiewicz W. Longitudinal changes in mandibular bone mineral density compared with hip bone mineral density and quantitative ultrasound at calcaneus and hand phalanges. *Br J of Radiol* 2002; 75 : 743-7.
 42. Yang J, Pham SM, Crabbe DL. Effects of oestrogen deficiency on rat mandibular and tibial microarchitecture. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 247-51.