

구내방사선사진의 프랙탈 분석을 이용한 골다공증 예측

부산대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
박금미 · 정연화 · 나경수

Prediction of osteoporosis using fractal analysis on periapical radiographs

Gum-Mi Park, 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 the fractal dimension and radiographic image brightness of periapical radiograph were useful in predicting osteoporosis.

Materials and Methods : Ninety-two postmenopausal women were classified as normal, osteopenia and osteoporosis group according to the bone mineral density of lumbar vertebrae and periapical radiographs of both mandibular molar areas were taken. The ROIs of 358 areas were selected at periapical and interdental areas and fractal dimension and radiographic image brightness were measured.

Results : The fractal dimension in normal group was significantly higher than that in osteoporosis group at periapical ROI ($P < 0.05$). The radiographic image brightness in normal group was higher than that in osteopenia and osteoporosis group. There was significant difference not only between normal and osteopenia group ($P < 0.05$) but also within osteopenia and osteoporosis group ($P < 0.01$) at periapical ROI. Significant difference was observed not only between normal and osteopenia group but also between normal and osteoporosis group at interdental ROI ($P < 0.01$). Positive linear relationship was weakly shown at Pearson correlation analysis between fractal dimension and radiographic image brightness. BMD significantly correlated with fractal dimension at periapical ROI ($P < 0.01$), and BMD and radiographic image brightness significantly correlated at both periapical and interdental ROIs ($P < 0.01$).

Conclusion : This study suggests that the fractal dimension and radiographic image brightness of periapical ROI may predict BMD. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 41-6)

KEY WORDS : Osteoporosis; Fractal Dimension; BMD; Radiography, Dental

서론

골다공증은 가장 흔한 대사성 골질환으로서 골량의 감소, 골의 약화로 이어지는 미세구조의 약화 및 골절 위험성 증가를 보인다.¹ 골량은 일차적으로 유전적인 요인에 의하여 결정되며 이중 가장 중요한 요인은 성별이다.² 남성과 여성에 있어서 주된 골성장은 30세까지 완성되며 여성의 최대 골량은 여성에 비해 크다. 여성의 경우, 폐경 이후 5-10년 동안의 골 감소 시기가 있으며 이때의 골 감소율은 폐경 이전 감소율의 2-4배가 된다. 이에 비해 남성의

골량 감소는 여성보다 늦게 시작되어 훨씬 서서히 진행된다.² 따라서 골량 감소에 의한 골다공증의 위험도는 폐경 이후 여성에서 가장 높으며 이에 대한 조기진단을 악골의 방사선사진을 통해서도 시도해보는 것은 임상적인 의미가 있다.

Hildebolt³는 골다공증과 악골 소실 간의 연관성에 관한 문헌고찰에서 조직형태학적 및 미세방사선학적 연구들이 50세 이후에 하악골의 피질골 다공성이 상당히 증가한다는 것을 보여 주었으며 이러한 변화는 하악체보다는 치조골에서 더 심하다고 하였다. 또한 다공성 증가와 더불어 골량의 감소가 있으며 이는 남성보다 여성에서 더 현저하고, 골의 무기질 성분의 소실이 여성에서는 연간 1.5%이며 남성에서는 0.9%라고 하였다. 그는 모든 연구에서 골다공증과 악골 소실 간의 관련성을 발견한 것은 아니었지만

접수일 : 2004년 12월 9일; 심사일 : 2004년 12월 10일; 채택일 : 2005년 1월 18일
Correspondence to : Prof. Kyung-Soo Nah
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Pusan National University, Ami-dong, 1-ga, Seo-gu, Busan 602-739, Korea
Tel) 82-51-240-7471, Fax) 82-51-244-7473, E-mail) ksna@pusan.ac.kr

이들 간의 관계가 있다고 결론지었다.

전신적인 골다공증과 하악골과의 관련여부는 이중에너지 방사선 흡수계측법 (dual energy x-ray absorptiometry: DEXA)이나 정량적 전산화 단층촬영법 (quantitative computed tomography: QCT)과 같은 정밀한 검사방법들을 통한 측정으로 증명 될 수도 있지만^{4,7} 임상에서 일차적으로 사용되는 파노라마나 치근단방사선사진과 같은 일반 방사선사진을 이용하여 골다공증의 파괴적인 효과에 대한 위험을 판별할 수 있는 경제적인 방법의 개발에 대한 연구도 필요하다고 여겨진다.

파노라마 방사선사진에 있어서는 1991년 Benson 등⁸이 이공과 하악 하연과의 거리가 비교적 일정하다는 것에 착안하여 이 거리와 하악 하연 피질골 두께와의 비를 Panoramic mandibular index (PMI)로 표현한 이래 이 PMI를 사용한 연구들이 많이 진행되어 정상과 골다공증 여성 간에 유의할 만한 평균 PMI의 차이가 있다는 결과^{9,10}와 없다는 결과^{11,12}가 보고되었다. 또한 대조군에 비해 골다공증성 골절이 있는 군에서 하악 피질골이 유의할 만하게 얇다는 결과¹³⁻¹⁵ 및 차이가 없다는 결과⁷도 보고되어 파노라마 방사선사진상에서의 하악골 계측치와 전신적인 골다공증과의 상관관계에 대한 많은 연구가 시행되고 있다.

치근단방사선사진에 관하여서는 해면골 형태분류에 따라 골밀도(Bone mineral density, BMD)를 평가하는 연구^{16,17}가 소수 있었고 프랙탈 분석(fractal analysis)을 이용하여 치조골의 프랙탈 차원(fractal dimension)을 측정하여 골밀도를 평가하는 시도가 있어왔다.¹⁸⁻²⁷ 하지만 실험적인 연구가 많았으며 프랙탈 차원 값이 연령, 탈회 혹은 골다공증이 심해지면서 증가하거나^{18,22,25} 감소하는 것^{19,23,26,27}으로 상반되게 연구결과가 보고되었다.

이 연구의 목적은 폐경 이후 여성 중 전신적인 골다공증이 없는 군, 골감소증이나 골다공증이 있는 군을 대상으로 촬영한 치근단방사선사진 상에서 필름흑화도 및 프랙탈 차원을 측정하여 비교하여 봄으로써 치근단방사선사진이 전신적인 골격의 골다공증 유무를 예측하는데 유용하게 사용될 수 있는지를 평가하는 것이었다.

재료 및 방법

1. 연구재료

42~72세(평균 62.4세±7.5)의 척추 또는 고관절부 골절의 병력이 없는 폐경 이후 여성 92명을 대상으로 이중 에너지 방사선 흡수 계측법(DEXA, LUNAR Prodigy, Lunar Corporation, Madison, WI, USA)으로 요추의 골밀도를 측정 한 후 T-score에 의한 세계보건기구(WHO)분류²⁸에 의하여 정상군, 골감소증군, 골다공증군으로 분류하였다. 이들을 대상으로 좌우측 대구치 부위에서 치근단방사선사진을

촬영하였고 92명의 구내 방사선사진 184매 중에서 동요가 심하거나 상이 왜곡된 2명의 좌우측 사진과 1명의 우측사진을 제외한 90명의 좌우측 사진 179매를 연구재료로 하였다.

2. 치근단 방사선사진 촬영

구내방사선 촬영기는 7mA, 60kVp DC로 고정된 Heliodent-DS (Sirona, Bensheim, Germany)를 사용하였고, CCD 직접 디지털 영상기구인 CDX 2000HQ (Biomedisys Co., Seoul, Korea) 시스템으로 디지털 방사선사진을 촬영하였다. CCD 센서의 active receptor area는 30 mm×20 mm, pixel matrix는 672×448이며, 획득된 상은 Window JPEG파일로 저장하였다. 0.05 mm두께의 구리로 제작된 5단계의 stepwedge를 CCD 센서의 교합면 측에 치관과 겹치지 않도록 위치시켜서 촬영함으로써 방사선사진 영상 흑화도 보정을 위한 기준밀도영상을 방사선사진상에 인기하였다.

3. 영상처리

Adobe사의 Photoshop 프로그램 (Ver 6.0, Adobe Systems Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 치근단방사선사진에서 하악 제1대구치 치근단부위의 50×50 픽셀 크기영역과 하악 제2소구치와 하악 제1대구치 치근사이 30×60 픽셀 크기영역의 두 군데 관심영역(Region of interest, ROI)을 선택하여 총 358개의 영상을 얻었다.

모든 ROI 영상을 White와 Rudolph¹⁶에 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 영상을 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.

4. 프랙탈 차원 분석

영상처리를 통하여 얻어진 358개 골격화 영상을 프랙탈 분석 시스템인 BENOITTM 프로그램 (Ver 1.3, TruSoft Int'l Inc., FL, USA)을 이용하여, box-counting method로 프랙탈 차원 값을 계산하였다.

5. 방사선사진 영상 명도 측정

Photoshop 프로그램을 이용하여 치근단방사선사진에 인 기된 copper wedge영상 각 단계의 명도를 256단계의 수치

(0 : black, 255 : white)로 표시하고 각각의 평균값을 구하여 모든 방사선사진의 영상 명도를 보정한 후, 358개 ROI 부위의 명도를 측정하였다.

6. 통계분석

정상군, 골감소증군 및 골다공증군에서 프랙탈 차원 및 방사선사진 영상 명도의 차이를 평가하기 위하여 독립 t-검정을 실시하였으며, 프랙탈 차원과 방사선사진 영상 명도의 상관관계와 BMD 최저치와 프랙탈 차원 및 명도간의 상관관계는 Pearson 상관계수로 분석하였다. 모든 통계과정은 SPSS (Ver 10.0 for windows, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다.

결 과

1. 연구대상

연구대상의 연령분포 및 BMD 최저치 T-score는 Table 1과 같았다.

2. 프랙탈 차원 분석

ROI 358부위의 프랙탈 차원 값은 Table 2와 같다. 정상군의 프랙탈 평균값은 치근단 부위에서 1.847 ± 0.003 , 치간 부위에서 1.790 ± 0.005 이었고, 골감소증군에서는 치근단 부위에서 1.848 ± 0.004 , 치간 부위에서 1.793 ± 0.006 이었으며, 골다공증군에서는 치근단 부위에서 1.845 ± 0.004 , 치간 부위에서 1.791 ± 0.006 이었다. 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보여준 것은 정상군과 골다공증군 간의 치근단 부위로 정상군의 프랙탈 차원이 높았다 ($P < 0.05$).

Table 1. Clinical features of study subjects

	No. of patients	Age	BMD minimum (T-score)
Normal	17	59.1 ± 7.3	0.000 ± 0.847
Osteopenia	35	60.9 ± 7.5	-1.703 ± 0.446
Osteoporosis	38	65.4 ± 6.5	-3.250 ± 0.612
Total	90	62.4 ± 7.5	-2.034 ± 1.350

Values are mean \pm SD.

Table 2. Fractal dimension at each ROI

	No. of ROI	Periapical FD	Interdental FD	Total
Normal	34	$1.847 \pm 0.003^*$	1.790 ± 0.005	1.819 ± 0.029
Osteopenia	70	1.848 ± 0.004	1.793 ± 0.006	1.820 ± 0.028
Osteoporosis	75	$1.845 \pm 0.004^*$	1.791 ± 0.006	1.818 ± 0.028
Total	179	1.846 ± 0.004	1.792 ± 0.006	1.819 ± 0.028

Values are mean \pm SD. *: statistically significant ($P < 0.05$)
FD=fractal dimension

3. 방사선사진 영상 명도 측정

부위별 ROI의 방사선사진 영상 명도는 Table 3과 같았다. 정상군의 치근단부위 방사선사진 영상 명도 평균값은 99.104 ± 19.386 로서, 골감소증군의 88.085 ± 25.843 보다 유의성 있게 높았고 ($P < 0.05$), 골다공증군의 75.419 ± 20.261 보다 유의성 있게 높았다 ($P < 0.01$). 골감소증군과 골다공증군간에도 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다 ($P < 0.01$).

정상군의 치간 부위에서 방사선사진 영상 명도 평균값은 96.060 ± 20.487 로서, 골감소증군의 82.362 ± 23.770 보다 유의성 있게 높았고, 골다공증군의 78.323 ± 19.994 보다 유의성 있게 높았다 ($P < 0.01$).

4. 프랙탈 차원과 방사선사진 영상 명도 간의 상관관계

프랙탈 차원과 방사선사진 영상 명도 간의 상관관계를 피어슨 상관계수로 분석한 결과는 Table 4와 같았고, 통계적인 유의성은 없었으나 치근단 ROI에서 프랙탈 차원과

Table 3. Radiographic image brightness at each ROI

	No. of ROI	Periapical brightness	Interdental brightness	Total
Normal	34	$99.104 \pm 19.386^{* \parallel}$	$96.060 \pm 20.487^{\dagger \S}$	97.582 ± 19.854
Osteopenia	70	$88.085 \pm 25.843^{\parallel \dagger}$	$82.362 \pm 23.770^{\S}$	85.224 ± 24.905
Osteoporosis	75	$75.419 \pm 20.261^{* \dagger}$	$78.323 \pm 19.994^{\dagger}$	76.871 ± 20.113
Total	179	84.871 ± 24.076	83.272 ± 22.470	84.071 ± 23.268

Values are mean \pm SD.

* \dagger \S : statistically significant ($p < 0.01$), \parallel : ($p < 0.05$)

Table 4. Correlation analysis of fractal dimension and radiographic image brightness

	FD	Brightness	Pearson correlation coefficient
Periapical ROI	1.846 ± 0.004	84.871 ± 24.076	0.104
Interdental ROI	1.792 ± 0.006	83.272 ± 22.470	0.01

Values are mean \pm SD.

Table 5. Correlation analysis of BMD and fractal dimension

	BMD	FD	Pearson correlation coefficient
Periapical ROI	-2.034 ± 1.350	1.846 ± 0.004	0.198*
Interdental ROI	-2.034 ± 1.350	1.792 ± 0.006	-0.024

Values are mean \pm SD. *: statistically significant ($P < 0.01$)

Table 6. Correlation analysis of BMD and image brightness

	BMD	Brightness	Pearson correlation coefficient
Periapical ROI	-2.034 ± 1.350	84.871 ± 24.076	0.408*
Incerdental ROI	-2.034 ± 1.350	83.272 ± 22.470	0.340*

Values are mean ± SD. *: statistically significant ($P < 0.01$)

영상 명도 간에 약한 양적 선형관계를 보여주었다.

5. BMD와 프랙탈 차원 및 방사선사진 영상 명도 간의 상관관계

BMD와 프랙탈 차원 및 방사선사진 영상 명도 간의 상관관계를 피어슨 상관계수로 분석하였다. BMD와 프랙탈 차원의 상관관계에서 통계학적으로 유의성이 있었던 부위는 치근단 ROI이었고 (Table 5), BMD와 방사선사진 영상 명도는 모든 ROI에서 통계학적으로 유의성 있는 상관관계를 나타내었다 (Table 6).

고 찰

프랙탈 분석은 복잡한 구조를 정량화하는데 도움을 주는 수학적 방법으로서²⁹ 골소주가 전형적인 프랙탈 구조를 이루고 있기 때문에 프랙탈 분석을 골다공증의 진단에 이용하는 시도는 치의학 분야에서도 많이 있어왔다. 차원이 커지면 형태가 더 복잡해진다는 일반적인 원칙²⁹을 적용한다면 어떤 대상의 복잡도가 증가할수록, 덜 복잡한 대상에 비하여 프랙탈 차원이 커진다는 개념을 가지게 되지만 지금까지의 연구결과들은 프랙탈 차원 값이 연령, 탈회 혹은 골다공증이 심해지면서 증가하거나^{18,22,25} 감소하는 것^{19,23,24,26,27}으로 상반되게 보고되었다.

Southard 등¹⁹은 프랙탈 차원 계산방법의 차이와 실험대상의 차이가 상반된 결과를 초래할 수 있다고 설명하였지만 다른 한편에서는 프랙탈 분석의 임상적 적용에 대한 문제점과 분석방법에 대한 논란도 제기되었다. Shroud 등²⁰은 디지털화된 치과방사선사진에서 측정된 프랙탈 차원은 노출시간, 조사각도의 다양성에 영향을 받지 않으며, 절대적인 ROI의 위치가 필수적이지 않음을 암시한다고 발표한 후 또 다른 연구³⁰에서 프랙탈 차원은 표준화되지 않은 임상 방사선사진에서 계산될 수 있으며 치은염군과 치주염군을 구분하는데 사용될 수 있다고 하였다. 반면에 Veenland 등³¹은 방사선사진에서 측정되는 프랙탈 차원은 동일한 피사체-초점 거리, 동일한 노출조건, 동일한 해상력의 동일한 디지털화기기를 사용할 때만 비교될 수 있다고 하였고 안 등³²은 적절한 노출시간과 해상도는 하악골의 평가를 위한 tile-counting method를 사용한 프랙탈 차원에 필수적이라고 하였다. Shroud 등²¹은 ROI 크기와 형태

가 치조골의 프랙탈 분석의 결과에 영향을 주기도 한다고 하였으며 Chen 등²²은 프랙탈 차원이 촬영 각도에 따라 통계적으로 유의성 있는 변화를 보인다고 하였다. Nair 등³³은 일반방사선사진과 TACT사진을 이용한 하악골 결합부위의 골치유 평가에서 프랙탈 차원은 촬영방법에 따라 통계적으로 유의성 있는 차이를 보여서 TACT사진이 일반사진보다 프랙탈 차원이 높았다고 하였다. Pornprasertsuk 등²⁹은 쥐를 이용한 실험적 연구에서 프랙탈 차원은 디지털화된 필름에서 측정된 것이 CCD에서 측정된 것보다 통계학적으로 유의성 있게 더 높았다고 하면서 프랙탈은 영상기록매체의 종류에 따라서도 통계학적으로 유의성 있게 영향을 받을 정도라고 하였다.

이와 같이 프랙탈 차원 값은 정해진 것이 아니며 영상 획득 과정 중의 변수들에 의하여 변화될 수 있다고 하더라도 영상의 프랙탈 분석은 비침습적이고 저렴한 골 구조 분석법이어서 골다공증이나 치주염 환자에서 골소주의 유형 및 변화의 분석에 이용되고 있다.³²

본 연구에서 사용된 box counting method는 trabecular bone의 프랙탈 차원 측정에 널리 사용되어 온 방법으로서³⁴ box dimension은 입자들을 덮을 수 있는 다양한 크기의 정사각형 격자를 사용하여 측정된다. 즉 r크기의 정사각형 격자로 image를 덮기 위해서 r입자 크기의 box가 몇 개 필요한지를 계산하여 프랙탈 차원을 측정하며 이원 영상(binary image)에서 박스크기는 픽셀의 수로 표현된다. image를 덮기 위한 'r'크기 box수 'N'과 프랙탈 차원 'D'는 $N(r) = 1/r^D$ 의 관계를 가진다.

본 연구의 결과에서 프랙탈 차원 값은 치근단부위에서 정상군이 골다공증군에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높게 나왔고 방사선사진영상 명도간의 상관관계에서 치근단 ROI에서 약한 양적 선형관계가 있었으므로 프랙탈 차원 값이 높을수록 명도가 높아서 프랙탈 차원은 골흡수가 진행될수록 정상보다는 낮게 표현되는 것으로 보여진다. 그러나 골감소증군의 프랙탈 차원이 높게 나온 것은 골감소증군이 정상군과 치조골밀도에 있어서 별 차이가 없을 수 있으며 프랙탈 차원은 이 정도의 차이를 구별할 수 있는 민감성을 갖지 못했음을 보여준다. 반면에 방사선사진 영상 명도는 정상군에 비해 골감소증군, 골다공증군의 방사선사진 영상 명도가 치근단 부위 뿐 아니라 치간 부위에서도 통계적으로 유의성 있게 낮게 나타남으로써 프랙탈 차원 보다 더 민감성이 있다는 것을 보여주었다.

치근단방사선사진에서 측정된 프랙탈 차원이 전신적인 골격의 골다공증 유무를 예측하는데 유용하게 사용될 수 있는지에 대한 평가로서 Southard 등²⁴은 골다공증을 유발한 토끼를 대상으로 한 실험적 연구에서 하악골의 프랙탈 차원은 하악골밀도나 척추골밀도와 통계학적으로 유의성 있는 상관관계가 없었다고 하였고, Southard 등³⁵은 건강한 여성에서 상악치조골의 프랙탈 차원과 상악골의 골밀도,

하악 치조골의 프랙탈 차원과 하악골의 골밀도 간에 통계적으로 유의성 있는 상관관계가 있었고 하악 치조골 프랙탈 차원과 상악치조골 밀도, 하악 치조골밀도 간에 상관관계가 있었지만 척추골, 골반이나 요골의 골밀도와는 상관관계가 없었다고 하였다. 하지만 Drozdowska 등³⁶은 폐경기 여성을 대상으로 28개월간의 연구를 한 결과 DEXA로 측정된 하악골의 소실이 다른 골 부위보다 훨씬 더 높음을 보여주었고 Yang 등³⁷은 에스트로겐 부족은 쥐의 하악골과 경골에서 16주 이내에 해면골의 미세구조의 변화를 초래하였으며 하악골에서 골수의 크기와 해면골의 형태는 장골에서 골다공증적인 변화와 상관관계를 보였다고 하였다. 본 논문의 결과에서는 골밀도(BMD)와 프랙탈 차원의 상관관계에서 통계학적으로 유의성이 있었던 부위는 치근단 ROI이었고($P < 0.01$), 골밀도(BMD)와 방사선사진 영상 명도는 모든 ROI에서 통계학적으로 유의성 있는 상관관계를 나타냄으로 치근단부위에서의 측정된 프랙탈 차원과 방사선사진 영상 명도는 골밀도(BMD)를 예측하는데 유용하다는 결론을 내릴 수 있었다.

참 고 문 헌

- Kanis JA. Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet* 2002; 359 : 1929-36.
- White SC. Oral radiographic predictors of osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 84-92.
- Hildebolt CF. Osteoporosis and oral bone loss. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 3-15.
- 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.
- Klemetti E, Vainio P, Lassila V, Alhava E. Cortical bone mineral density in the mandible and osteoporosis status in postmenopausal women. *Scand J Dent Res* 1993; 101:219-23.
- Klemetti E, Vainio P, Lassila V, Alhava E. Trabecular bone mineral density of mandible and alveolar height in postmenopausal women. *Scand J Dent Res* 1993; 101 : 166-70.
- Mohajery M, Brooks SL. Oral radiographs in the detection of early signs of osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992; 73 : 112-7.
- Benson BW, Prihoda TJ, Glass BJ. Variations in adult cortical bone mass as measured by a panoramic mandibular index. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991; 71 : 349-56.
- 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.
- Bollen AM, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG. Case-control study on self-reported osteoporotic fractures and mandibular cortical bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 90 : 518-24.
- Watson EL, Katz RV, Adelezzi R, Gift HC, Dunn SM. The measurement of mandibular cortical bone height in osteoporotic vs. non-osteoporotic postmenopausal women. *Spec Care Dentist* 1995; 15 : 124-8.
- Drozdowska B, Pluskiewicz W, Tarnawska B. Panoramic-based mandibular indices in relation to mandibular bone mineral density and skeletal status assessed by dual energy X-ray absorptiometry and quantitative ultrasound. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 361-7.
- Bollen AM, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG. Case-control study on self-reported osteoporotic fractures and mandibular cortical bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 90 : 518-24.
- 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.
- Bras J, van Ooij CP, Abraham-Inpijn L, Kusen GJ, Wilmink JM. Radiographic interpretation of the mandibular angular cortex: A diagnostic tool in metabolic bone loss. Part I. Normal state. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 53 : 541-5.
- 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.
- Shrout MK, Jett S, Mailhot JM, Potter BJ, Borke JL, Hildebolt CT. Digital image analysis of cadaver mandibular trabecular bone pattern. *J Periodontol* 2003; 74 : 1342-7.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Chen S-K, Chen C-M. The effects of projection geometry and trabecular texture on estimated fractal dimensions in two alveolar bone models. *Dentomaxillofac Radiol* 1998; 27 : 270-4.
- Lee KI, Choi SC, Park TW, You DS. Fractal dimension calculated from two types of region of interest. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 284-9.
- 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.
- Bollen A-M, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG. Fractal dimension on dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30 : 270-5.
- 차상윤, 한원정, 김은경. 치주질환 진단시 프랙탈 분석의 유용성에 관한 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 2001; 31 : 35-42.
- 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.
- Kanis JA. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. WHO Study Group. *Osteopor Int* 1994; 4 : 368-81.
- 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.
- 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.
31. Veenland JF, Grashuis JL, van der Meer F, Beckers ALD, Gelsema ES. Estimation of fractal dimension in radiographs. *Med Phys* 1996; 23 : 585-94.
32. 안병모, 허민석, 이승표, 이삼선, 최순철, 박태원 등. 노출 시간과 영상 해상도가 프랙탈 차원 값에 미치는 영향. *대한구강악안면방사선학회지* 2002; 32 : 75-9.
33. 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.
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. 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.
36. 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 Radiol* 2002; 75 : 743-7.
37. Yang J, Pham SM, Crabbe DL. Effects of estrogen deficiency on rat mandibular and tibial microarchitecture. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 247-51.