

파노라마방사선사진에서 프랙탈 분석 등을 이용한 골다공증 예측

부산대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
김주연 · 나경수

Prediction of osteoporosis using fractal analysis et cetera on panoramic radiographs

Joo-Yeon Kim, 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 panoramic radiographs were useful in predicting osteoporosis.

Materials and Methods : 50 postmenopausal women between the age of 41.8 and 78.5 were classified as normal and osteoporosis groups according to the bone mineral density of lumbar vertebrae. Panoramic radiographs were taken. Age, body mass index, remaining mandibular teeth, mandibular cortical thickness and morphology, and fractal dimensions at periapical areas of mandibular first molars were evaluated to differentiate the two groups.

Results : The age of osteoporotic group was statistically significantly higher than that of normal group ($p < 0.05$), but not the body mass index or number of remaining mandibular teeth. The mean fractal dimension of osteoporotic group was 1.391 ± 0.085 , and was significantly lower than that of the normal group, which was 1.523 ± 0.725 ($p < 0.01$). Thick mandibular cortical thickness was common in normal group, whereas thin or very thin mandibular cortical thickness was common in osteoporotic group and the difference was significant ($p < 0.05$). C2 pattern was common in normal group followed by C1, whereas C2 was common in osteoporotic group followed by C3. The difference was statistically significant ($p < 0.01$).

Conclusion : Age, mandibular cortical thickness and shape, fractal dimension on panoramic radiographs were useful in predicting osteoporosis. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 79-82)

KEY WORDS : Osteoporosis; Fractal Dimension; Radiography, Panoramic

서 론

일생 동안 골의 일부는 계속적으로 흡수와 재형성을 반복하는데, 골형성이 골흡수와 같은 속도로 일어난다면 이 체제는 균형을 이루게 된다. 골량의 감소는 골형성 부족이나 골흡수 증가와 같은 불균형에 의하여 생기며, 골다공증이라고 할 때는 이로 인한 동통, 변형 혹은 골절이 수반되는 경우이다. WHO¹가 제시한 골다공증의 진단기준은 골밀도(bone mineral density, BMD)가 동일 성의 젊은 성인의 골밀도에서 표준편차 2.5배 이하이거나(T-score), 해당 연

령 정상치에서 표준편차 2.5배 이하일 때(Z-score)이다.

Hiltebolt²는 전신적인 골다공증과 악골 소실 간의 관계에 관한 체계적인 문헌고찰 후 이들 연관성이 있다는 결론을 내릴 수 있었다. Wowerm의 고찰³에서도 대부분의 경우에 전신적인 골다공증은 악골의 심한 골밀도 감소와 관련이 있을 수 있다고 하면서 악골의 최고 골밀도는 여성에서 남성보다 낮으며 연령증가에 따른 소실율도 여성에서 더 빠르다고 하였다.

골격의 비침습적인 골밀도 측정에는 주로 이중에너지방사선흡수계측법(Dual energy X-ray absorptiometry: DEXA)이 이용되지만, 악골의 구조적인 특성 상 현재의 DEXA 장치로서는 환자의 악골 및 치조골 밀도를 측정하기가 어려우며 임상적인 요구도 불확실하다.

그러므로 널리 사용되는 파노라마방사선사진에서 일상적 판독이나 단순계측으로 골소실을 평가하여 전신적인

*이 논문은 2007년도 부산대학교병원 임상연구비 지원에 의하여 이루어진 것임.
접수일 : 2007년 2월 21일; 심사일 : 2007년 2월 22일; 채택일 : 2007년 4월 2일
Correspondence to : Prof. Kyung-Soo Nah
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Pusan National University, 1-10 Amidong, Seoku, Pusan 602-739, Korea
Tel) 82-51-240-7595, Fax) 82-51-245-8388, E-mail) ksnah@pusan.ac.kr

골다공증 위험을 예측할 수 있다면 치과 임상에서도 골다공증 환자의 조기진단에 기여할 수 있을 것이다.

파노라마방사선사진에서 골다공증 예측지표로 사용되어 온 것에는 개별 하악 크기를 고려한 피질골 두께 (Panorama mandibular index, PMI), 이공하방의 하악 하연 피질골 두께 (Mental index, MI), antegonial 피질골 두께 (Antegonial index, AI), Gonion에서의 하악 하연 피질골 두께 (Gonial index, GI), 이공 후방 하악 하연 피질골 형태 (Mandibular cortical index, MCI) 및 프랙탈 차원 등이 있으며 각 지표의 유용성이 조사되고 있다. 예를 들어 PMI가 골다공증적 지표로 유용하다는 연구⁴와 유용하지 않다는 연구^{5,6}가 있었고, MI, AI 및 GI도 유용하다는 연구^{7,8}와 그렇지 않다는 연구⁹가 있었으며 MCI는 유용한 지표라는 연구¹⁰⁻¹²가 많이 있어왔다. 그리고 해면골의 복잡한 구조를 일정범위의 수치로 표현하는 간단한 방법인 프랙탈 분석도 Southard 등¹³을 비롯한 많은 연구¹⁴⁻¹⁷에서 치조골의 골밀도와 연관이 있다고 보고하고 있다.

이 연구의 목적은 폐경 이후 여성을 대상으로 한 파노라마방사선사진상에서 골다공증지표로서 유용성이 검증된 피질골 두께, 피질골 형태, 잔존치아수 및 프랙탈 차원분석을 통하여 정상군과 골다공증군을 구별할 수 있는지를 조사하는 것이다.

재료 및 방법

1. 연구재료

41.8-78.5세의 척추 또는 고관절부 골질의 병력이 없는 폐경 이후 여성 50명을 대상으로 키와 몸무게를 측정한 후 이중에너지방사선흡수계측법 (DEXA, LUNAR Prodigy, Lunar Corporation, Madison, WI, USA)으로 첫 번째 요추에서 4번째 요추의 골밀도를 측정하고 그 평균값을 T-score에 의한 세계보건기구 (WHO) 분류¹에 의하여 정상군 및 골다공증군으로 분류하였다.

PM 2002 CC 촬영기 (Planmeca, Helsinki, Finland)를 사용하여 파노라마방사선사진을 촬영한 후 16비트 300 dpi의 해상도로 스캔 (EPSON PERFECTION 4990 PHOTO)하여 디지털화 하였다.

2. 측정항목

1) 신체질량지수 (Body Mass Index: BMI)

신장 (meter)의 제곱으로 체중 (kilogram)을 나누어 산출하였다.

2) 잔존치의 수

파노라마방사선사진상에서 하악 잔존치의 수를 조사하였다.

3) 피질골 두께 (Mandibular cortical thickness) 및

MCI (Mandibular cortical index)

하악 하연 피질골의 두께를 육안으로 관찰하여 두꺼움 (thick), 얇음 (thin), 매우 얇음 (very thin)의 세군으로 분류하였다. 그리고 Klementti 등¹⁸의 분류에 따라 이공 후방 하악 하연 피질골의 형태에 근거하여 C1-C3의 세 군으로 분류하였다. 즉, C1은 피질골의 골내막 경계 (endosteal margin)가 좌우측 모두에서 균일하며 예리한 경우를, C2는 피질골 골내막 경계가 한측 또는 좌우측 모두에서 반월형 결손 (semilunar defects)을 보이거나 1-3층의 골내막 피질골 층 (endosteal cortical layer)을 형성하는 경우를, C3는 피질골 층이 심한 골내막 잔사 (endosteal residues)를 형성하거나 명확하게 다공성을 보이는 경우로 하였다.

4) 프랙탈 차원 분석

Adobe사의 Photoshop 프로그램 (Ver 7.0, Adobe systems Inc, San Jose, Calif)을 이용하여 좌우 하악 제1대구치 치근단부위에 50×50 픽셀 크기의 관심영역 (Region of interest, ROI)을 선택하여 총 100개의 영상을 얻었다.

모든 ROI 영상을 White와 Rudolph¹⁹에 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.

영상처리를 통하여 얻어진 100개 골격화 영상을 Image J 프로그램 (1.33i NIH, USA)을 이용하여, box-counting method로 프랙탈 차원 값을 계산하였다.

5) 통계 분석

정상군 및 골다공증군에서 연령, 신체질량지수, 잔존치수 및 프랙탈 차원 값이 유의한 차이를 보이는 가를 평가하기 위해 독립 t-검정을 실시하였으며, 피질골 두께 및 MCI에 대해서는 교차분석 (χ^2 test)을 실시하였다. 모든 통계과정은 SPSS (vers 12.0 for windows) 프로그램을 이용하였다.

결 과

1. 연구대상

연구대상의 연령분포 및 BMD 평균치 T-score는 Table 1과 같았다. 골다공증군의 연령이 정상군보다 통계적으로

Table 1. Clinical features of study materials

| | Normal n=28 mean (SD) | Osteoporosis n=22 mean (SD) | Total n=50 mean (SD) |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Age (years) | 59.7 (7.9)* | 66.4 (6.6)* | 61.5 (8.0) |
| Weight (kg) | 60.1 (5.6) | 53.2 (7.0) | 57.5 (7.3) |
| Height (cm) | 157.3 (4.2) | 153.5 (6.2) | 155.6 (5.5) |
| BMD average (T-score) | 0.3 (1.0) | -3.1 (0.6) | -1.2 (1.9) |

* statistically significant (p<0.05)

Table 2. Mean values of parameters studied

| | BMI mean (SD) | Remaining teeth mean (SD) | Fractal dimension mean (SD) |
|----------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Normal n=28 | 24.6 (2.4) | 11.4 (3.2) | 1.523 (0.725)* |
| Osteoporosis n=22 | 22.6 (2.6) | 10.2 (4.4) | 1.391 (0.085)* |

* statistically significant (p<0.01)

Table 3. The ability of mandibular cortical thickness to discriminate between normals and osteoporotics

| Mandibular cortical thickness | Normal | Osteoporosis | Total |
|-------------------------------|--------|--------------|-------|
| Thick | 16 | 4 | 20* |
| Thin | 10 | 9 | 19* |
| Very thin | 2 | 9 | 11* |
| Total | 28 | 22 | 50 |

* statistically significant (p<0.05)

유의성 있게 높았다.

2. BMI, 잔존치 수, 및 프랙탈 차원 분석

BMI(신체질량지수), 하악 잔존치 수 및 하악 제1대구치 치근단부위 프랙탈 차원 값은 Table 2와 같았다. BMI, 잔존치수는 정상군과 골다공증군 사이에 통계적으로 유의성 있는 차이가 없었으나 정상군의 프랙탈 평균값은 1.523±0.725, 골다공증군에서는 1.391±0.085로서 골다공증군의 프랙탈 차원 값이 정상에서보다 통계적으로 유의성 있게 낮았다(p<0.01).

3. 피질골 두께 및 MCI 분석

하악 하연 피질골의 두께를 육안으로 관찰한 바 정상군에서는 정상적인 두꺼운 피질골이, 골다공증군에서는 얇거나 아주 얇은 경우가 많았으며 이들은 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다(Table 3, χ^2 test p<0.05). 하악 하연 피질골의 형태 변화 정도(MCI: C1-C3)는 정상군에서는 C2가 가장 많았고 다음이 C1이었으며 C3는 없었고, 골다공

Table 4. The ability of MCI to discriminate between normals and osteoporotics

| MCI | Normal | Osteoporosis | Total |
|-------|--------|--------------|-------|
| C1 | 11 | 0 | 11* |
| C2 | 17 | 12 | 29* |
| C3 | 0 | 10 | 10* |
| Total | 28 | 22 | 50* |

* statistically significant (p<0.01)

Table 5. The ability of MCT and MCI in combination to discriminate between normals and osteoporotics

| Cortical thickness | Normal | Osteoporosis | Total |
|--------------------|------------------|------------------|-------|
| Average | C1 (7) C2 (9) | C2 (3) C3 (1) | 20 |
| Thin | C1 (4) C2 (6) | C2 (6) C3 (3) | 19 |
| Very thin | C2 (1) C1 (1) | C2 (3) C3 (6) | 11 |
| Total | 28 | 22 | 50 |

() number of cases

증군에는 C2가 가장 많았고 다음이 C3이었으나 C1은 관찰되지 않음으로서 두 군이 통계적으로 유의할 만한 차이를 보였다(Table 4, χ^2 test p<0.01). 하악 하연 피질골의 두께와 형태(MCI)를 함께 고려해 보면, 정상군에서 하악 하연의 두꺼운 두께와 얇은 두께에서는 C2형태가 가장 많았고, 골다공증군의 얇은 두께에서는 C2가, 아주 얇은 두께에서는 C3가 가장 많았다(Table 5).

고 찰

본 논문은 나이, 신체질량지수 등의 임상정보와 아울러 파노라마방사선사진에서 간단하게 관찰 가능한 잔존치수, 하악 하연 피질골의 두께와 형태 그리고 하악대구치 치근단 부위의 프랙탈 차원이 전신적인 골격의 골다공증 유무를 예측하는데 유용하게 사용될 수 있는지를 평가하는 것이었다. 신체질량지수 및 잔존치수가 폐경 후 여성의 골다공증 진단에 유용하다는 이전 연구⁸도 있지만, 본 논문에서 통계적으로 유의성이 있는 결과가 나온 것은 나이, 하악 하연 두께, 하악 하연 형태 및 프랙탈 차원이었다.

White 등²⁰은 골다공증의 위험인자는 파노라마방사선사진상에서의 하악 하연의 두께와 나이였다고 하여 본 논문과 같은 결과를 보여 주었다. 또한 Taguchi 등¹⁰은 파노라마방사선사진에서 하악 하연 피질골 두께측정 및 설문조사로 골다공증 환자를 진단할 수 있었으며 Halling 등²¹은 하악 하연 피질골의 관찰로 골감소증이나 골다공증이 없다는 것을 진단할 수 있었으며, Taguchi 등¹¹은 파노라마방

사선사진상에서 하악 하연 피질골의 단순관찰만으로도 폐경여성의 낮은 골밀도를 확인하는데 유용하다고 하였다. 그리고 Taguchi 등²²은 파노라마방사선사진상에서 하악 하연 피질골 구조의 관찰은 일반 치과의사도 쉽게 판독 가능하므로 골다공증이 있는 환자를 의뢰할 수 있다고 함으로써 치과임상에서 일반적으로 사용되는 파노라마방사선사진을 통한 하악골 평가가 골격적인 골다공증을 인지하는 수단이 될 수도 있다는 긍정적인 견해를 갖게 해준다.

본 논문에서는 이공 부위에서의 하악 하연 피질골의 두께를 하악 하연에서 이공 하연 또는 상연까지의 거리로 나누는 값인 PMI를 측정하는 대신 이공 후방 하악 하연 피질골을 단순 관찰하는 편을 선택하였다. 이는 환자의 파노라마방사선사진상에서 쉽게 관찰가능하나 골다공증환자 감별에 민감한 지표로 사용되는 MCI처럼 하악 하연 피질골의 두께 지표도 간소화 하는 시도를 해 보고 싶었기 때문이었다.

프랙탈 차원은 구조의 복잡도를 상대적으로 비교하고 모델링하는 수단으로서 골소주가 전형적인 프랙탈 구조를 이루고 있기 때문에 프랙탈 분석을 골다공증의 진단에 이용하는 시도는 치의학 분야에서도 많이 있어왔다. Southard 등¹³은 프랙탈 차원이란 거침(roughness)을 인지하는 인간의 본능을 닮아서 표면이 거칠수록 계산된 프랙탈 차원은 커지는 것이며 방사선사진에서 치조골부분의 ROI를 잡았을 때 표면의 불규칙 정도가 프랙탈 차원으로 정량화되며 연속적인 방사선사진상에서 같은 ROI의 프랙탈 차원 변화는 골무기질 량의 변화를 반영한다고 하였다. 상악골 탈회 표본을 이용한 그들의 실험연구에서 무기질량이 감소함에 따라 방사선사진상의 프랙탈 차원은 감소하는 것으로 나타났다. 본 논문의 결과에서 골다공증군의 프랙탈 차원 값이 정상군에 비하여 낮게 나온 것은 골량의 감소를 의미하는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. World Health Organization study group. WHO Technical Report Series. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. World Health Organization. Geneva. 1994; 5.
2. Hildebolt CF. Osteoporosis and oral bone loss. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 3-15.
3. von Wowern N. General and oral aspects of osteoporosis: a review. *Clin Oral Investig* 2001; 5 : 71-82.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
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.
8. Taguchi A, Suei 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.
9. Mohajery M, Brooks SL. Oral radiographs in the detection of early signs of osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992; 73 : 112-7.
10. Taguchi A, Suei Y, Sanada M, Ohtsuka M, Nakamoto T, Sumida H, et al. Validation of dental panoramic radiography measures for identifying postmenopausal women with spinal osteoporosis. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 183 : 1755-60.
11. Lee K, Taguchi A, Ishii K, Suei Y, Fujita M, Nakamoto T, et al. Visual assessment of the mandibular cortex on panoramic radiographs to identify postmenopausal women with low bone mineral densities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100 : 226-31.
12. Sutthiprapaporn P, Taguchi A, Nakamoto T, Ohtsuka M, Mallick PC, Tsuda M, et al. Diagnostic performance of general dental practitioners after lecture in identifying post-menopausal women with low bone mineral density by panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 249-52.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Park GM, Jung YH, Nah KS. Prediction of osteoporosis using fractal analysis on periapical radiographs. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 41-6.
17. Jolley L, Majumdar S, Kapila S. Technical factors in fractal analysis of periapical radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 393-7.
18. Klemetti E, Kolmakov S, Kroger H. Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scand J Dent Res* 1994; 102 : 68-72.
19. 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.
20. 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.
21. Halling A, Persson GR, Berglund J, Johansson O, Renvert S. Comparison between the Klemetti index and heel DXA BMD measurements in the diagnosis of reduced skeletal bone mineral density in the elderly. *Osteoporos Int* 2005; 16 : 999-1003.
22. Nakamoto T, Taguchi A, Ohtsuka M, Suei Y, Fujita M, Tanimoto K, et al. Dental panoramic radiograph as a tool to detect postmenopausal women with low bone mineral density: untrained general dental practitioners' diagnostic performance. *Osteoporos Int* 2003; 14 : 659-64.