

# 방사선사진에서의 골질과 임상적으로 평가한 골질 분류의 상관관계

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, 치학연구소 및 BK21

\*인제대학교 의과대학 상계백병원 구강악안면방사선과

김현우 · 허경희 · 박관수\* · 김정화 · 이원진 · 허민석 · 이삼선 · 최순철

## Correlation of bone quality in radiographic images with clinical bone quality classification

Hyun-Woo Kim, Kyung-Hoe Huh, Kwan-Soo Park,\* Jeong-Hwa Kim, Won-Jin Yi, Min-Suk Heo, Sam-Sun Lee, Soon-Chul Choi

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental Research Institute, and BK21, College of Dentistry, Seoul National University

\*Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Sanggye Paik Hospital, College of Medicine, Inje University

### ABSTRACT

**Purpose** : To investigate the validity of digital image processing on panoramic radiographs in estimating bone quality before endosseous dental implant installation by correlating bone quality in radiographic images with clinical bone quality classification.

**Materials and Methods** : An experienced surgeon assessed and classified bone quality for implant sites with tactile sensation at the time of implant placement. Including fractal dimension eighteen morphologic features of trabecular pattern were examined in each anatomical sites on panoramic radiographs. Finally bone quality of 67 implant sites were evaluated in 42 patients.

**Results** : Pearson correlation analysis showed that three morphologic parameters had weak linear negative correlation with clinical bone quality classification showing correlation coefficients of  $-0.276$ ,  $-0.280$ , and  $-0.289$ , respectively ( $p < 0.05$ ). And other three morphologic parameters had obvious linear negative correlation with clinical bone quality classification showing correlation coefficients of  $-0.346$ ,  $-0.488$ , and  $-0.343$  respectively ( $p < 0.05$ ). Fractal dimension also had a linear correlation with clinical bone quality classification with correlation coefficients  $-0.506$  significantly ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion** : This study suggests that fractal and morphometric analysis using digital panoramic radiographs can be used to evaluate bone quality for implant recipient sites. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2006; 36 : 25-32)

**KEY WORDS** : Radiography, Panoramic; Dental Implant; Image Processing; Computer-Assisted, Fractals

## 서론

임플란트 식립 부위의 골질은 임플란트 수술의 성공률 및 예후에 큰 영향을 미친다. 이러한 이유로 임플란트 식립 전에 식립부의 골질을 평가하고자 하는 여러 가지 시도가 있어 왔고, 가장 적절하고 간편한 골질의 평가 방법을 찾기 위한 연구가 꾸준히 행해지고 있다. 통상적인 골질의 평가 방법에는 DEXA (Dual Energy X-ray Absorptometry)나 QCT (Quantitative Computed Tomography)가

있으며, 전산화단층촬영 영상(CT)의 Hounsfield Unit을 측정하여 골밀도를 예측하거나 일반 방사선사진 상에서 흑화도나 PMI (Panoramic mandibular index),<sup>1</sup> MCI (Mandibular cortical index)<sup>2</sup> 등의 측정 방법을 이용하기도 한다. 또한 임상적으로는 임플란트를 식립하는 과정에서 술자의 손에 느껴지는 저항감을 분류하여 골질을 평가하거나 드릴의 토크를 측정, 수치화하여 골질의 등급을 분류하는 방법이 있다.<sup>3-6</sup> 최근에는 생검한 골의 단면을 형태계측하거나 디지털 방사선사진을 이용하여 골소주 양상의 형태계측학적 분석을 통해 골질의 차이를 평가하는 연구가 소개되고 있으며, 프랙탈 분석을 이용하여 악골의 골질 변화를 평가하거나 골질을 예측하려는 시도도 행해지고 있다.<sup>7</sup>

형태계측학적 분석은 방사선사진 상의 골소주의 형태를 분석하여 골질을 평가하는 방법으로 White와 Rudolph<sup>8</sup>는

\*본 연구는 2004년도 서울대학교 신입교수정착금 지원에 의하여 이루어졌음.  
접수일 : 2005년 11월 16일; 심사일 : 2005년 11월 17일; 채택일 : 2005년 12월 23일  
Correspondence to : Prof. Min-Suk Heo  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology College of Dentistry, Seoul National University 28, Yeongeong-dong, Jongno-gu, Seoul 110-749, Korea  
Tel) 82-2-2072-3016, Fax) 82-2-744-3919, E-mail) hmslsh@snu.ac.kr

형태계측학적 분석을 이용하여 골다공증 환자 악골의 골소주 모양과 정상인의 골소주 모양의 차이를 밝히고자 하였다.

프랙탈 분석은 복잡한 모양이나 구조적인 양상을 정량화하여 일정범위의 수치인 프랙탈 차원을 얻는 방법이다.<sup>9,10</sup> 치근단 방사선사진에서의 프랙탈 차원은 해면골의 복잡한 구조를 설명하는 간단한 방법으로 사용된다. Ruttimann 등<sup>11</sup>은 최초로 방사선사진을 이용하여 하악골을 탈회시키기 전과 후의 프랙탈 차원을 측정하였다. 그는 프랙탈 차원은 산에 의해 탈회된 골에서 그 값이 증가하며, 작은 범위의 방사선 촬영 각도 변화에 영향을 받지 않는다고 하였다. 또한 프랙탈 차원은 치주염이나 골다공증에 이환된 환자에서 그 값이 의미가 있으며 질환을 진단하는 척도로 사용가능하다는 보고가 있다.<sup>9-14</sup> Southard 등<sup>12,13</sup>은 프랙탈 차원이 치조골의 골밀도와 연관이 있다고 하였고 골밀도가 높을수록 프랙탈 차원이 증가한다고 하였다.

파노라마 방사선사진은 임상가가 임플란트 식립 전에 골의 양과 질을 평가하는데 가장 접근하기 쉬운 매체로 대부분의 임상가들에 의해 사용되고 있다. 따라서 치료계획 수립 과정에서 파노라마 방사선사진을 이용한 정형화된 골질 평가 방법이 필요할 것으로 생각된다. 또한 최근 디지털 방사선사진이 보편화되어 손쉽게 영상을 변환하고 분석하는 것이 가능해지고 있다. 본 연구에서는 디지털 파노라마 방사선사진을 이용하여 임플란트 식립 부위의 골소주 패턴에 대한 형태계측학적 분석 및 프랙탈 분석을 시행하였고, 이들 분석치와 임플란트 식립 시 임상가가 평가한 골질 분류의 관련성을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료

개인 간 오차를 배제하기 위하여 10년 이상의 임상 경험이 있는 구강악안면외과를 전공한 치과의사 한 명이 시술한 임플란트를 연구대상으로 하였다. 67명의 환자에서 총 103개의 임플란트를 식립한 경우를 실험 대상으로 하였고 사용한 임플란트는 ITI<sup>®</sup> Dental Implant System (Institut Straumann AG, Waldenburg, Switzerland)으로 발치 후 최소 12개월 이상 된 무치악 부위에 모두 동일한 술식을 적용하여 식립하였다.

임플란트 식립 전에 골 이식술이나 상악동 거상술을 시행하는 등 순수 해면골의 골질평가가 불가능한 증례는 본 연구대상에서 제외하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 임상적 골질 평가

임플란트를 식립할 때 술자의 손의 느낌에 기초한 Misch<sup>15</sup>

의 골질 묘사를 참고하여 각 단계의 드릴이 골을 절삭할 때 느껴지는 저항감의 유무를 기준으로 골질을 4단계로 평가, 분류하도록 하였다. 임플란트 식립을 위해 직경이 각각 2.2, 2.8, 3.5 mm의 드릴을 순차적으로 사용하여 골을 절삭하였으며, 세 개의 드릴에서 모두 저항감이 느껴지는 경우를 골질 I로 분류하였다. 그리고 직경 2.2, 2.8 mm의 드릴의 사용 시에는 저항감이 있으나 직경 3.5 mm의 드릴에서 저항감이 느껴지지 않는 경우를 골질 II, 직경 2.2 mm의 드릴로 골 절삭할 때에만 저항감이 있는 경우를 골질 III으로 분류하였으며, 세 개의 드릴 모두에서 저항감 없이 골이 절삭되는 경우를 골질 IV로 분류하였다.

피질골에 의한 영향을 배제하기 위해 드릴이 치조정 피질골을 관통한 후 최종 깊이까지 도달하기 전, 임플란트 식립부위 중앙 1/3 부위의 골을 절삭할 때의 저항감만을 평가하도록 하였다.

#### 2) 디지털 영상 획득 및 처리

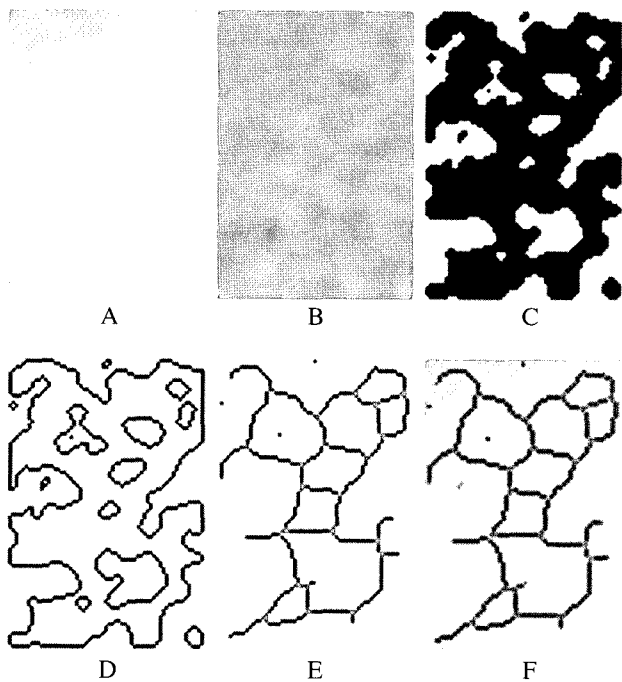
임플란트 식립 전과 후에 획득한 디지털 파노라마 방사선영상을 수집하였다. PaX-300C (Value Added Technologies Co., Hwaseong, Korea)를 이용하여 관전류 70 kVp, 관전압 6 mA의 조건에서 얻어진 파노라마 영상을 8 bit의 BMP 형식의 파일로 저장되었다.

디지털 방사선영상의 분석을 위해 Adobe Photoshop software Program (v8.0, Adobe System Inc., San Jose, USA)을 이용하여 임플란트 식립 전과 후의 파노라마 방사선사진을 중첩시킨 후 임플란트의 중앙 1/3부위와 겹쳐지는 무치악부의 관심영역을 얻었다. ROI는 폭 60 픽셀, 높이 90 픽셀의 크기로, 임플란트의 근원심으로 약 1 mm 정도의 주위골을 포함하게 설정하였고, 피질골과 임플란트 첨단부에 해당하는 해면골은 관심영역에 포함시키지 않았다.

획득한 영상 중 확연히 관찰되는 상의 왜곡 혹은 번짐 현상이 있거나 인접 구조물과 중첩되어 골소주 양상이 육안으로 확실히 보이지 않는 영상은 실험에서 제외하여 42명의 환자에서 총 67개의 임플란트 식립부위의 디지털 방사선영상의 분석을 시행하였다.

#### 3) 디지털 영상의 분석

영상의 분석을 위해 Scion Image Software Program ver-4.02 (Scion Corp., Frederick, USA)를 사용하였다. 관심영역의 원본영상에서 평균 회색조 수준을 얻은 후 복제한 영상에 가우시안 필터(kernel size=41×41)를 적용하여 미세 구조를 제거한 흐린 영상(blurred image)을 얻었다. 흐린 영상을 원본영상에서 공제한 후 각각의 픽셀 회색조에 128의 회색조 값을 더하여 원본영상의 회색조 수준과 관련 없이 평균 회색조 수치가 128인 영상을 얻었다. 이 영상을 128의 회색조 수준을 기준으로 이분화하여 방사선사진 상의 골소주 양상에 근접한 영상(binary image)으로 변환시키고, 이분화 영상에서 외곽선을 추출하여 외곽선 영



**Fig. 1.** The images acquired during morphometric processing. A, Region of interest of trabecular bone from digital panoramic radiograph. B, Blurred image. C, Binary image. D, Outline image. E, Skeletonized image. F, Superimposition of skeletonized trabeculae to A.

상 (outline image)을 얻었다. 이렇게 얻어진 영상의 noise의 제거를 위해 eroding과 dilating 과정을 거친 후 최종적으로 픽셀의 중앙선만 남은 골격 영상 (skeletonized image)을 얻었다 (Fig. 1).

단계적으로 변환된 영상에서 평균 회색조 수준 (mean gray level), 골소주 면적 (trabecular area), 골 외곽선의 길이 (periphery length), 골격의 총길이 (length of skeletonized trabeculae), 분절의 수 (number of segments), 분절의 평균길이 (mean length of segments), terminal point의 수 (number of terminal points), branch point의 수 (number of branch points) 등을 포함하여 총 17개 항목의 형태계측학적 분석을 시행하였다 (Table 1). 또한 tile-counting method<sup>10,16</sup>를 적용하여 프랙탈 분석을 시행하였다.

4) 통계 분석

통계 분석을 위해 SPSS program ver12.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)을 사용하였다. 임상적으로 평가한 4단계의 골질 분류에 따라 형태계측학적 분석치 및 프랙탈 차원의 통계학적 차이를 알아보기 위해 ANOVA 분석을 시행하였고, 사후 검증을 위해 Turkey's test를 시행하였다. 또한 피어슨 상관관계분석을 시행하여 임상적 골질 등급과 분석치 간의 상관관계를 알아보았다.

**Table 1.** Parameters derived from morphometric analysis

| Parameters                        | Derivatives from parameters     |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Mean gray level                   | Periphery % of trabeculae       |
| Trabecular area                   | Length/trabecular area          |
| Periphery                         | Terminal points/length          |
| Length of skeletonized trabeculae | Terminal points/periphery       |
| Number of segments                | Terminal points/trabecular area |
| Mean length of segments           | Branch points/length            |
| Number of terminal points         | Branch points/periphery         |
| Number of branch points           | Branch points/trabecular area   |
|                                   | Branch points/terminal points   |

**Table 2.** Distribution of bone quality of implant sites

|          | Bone quality |    |     |    | Total |
|----------|--------------|----|-----|----|-------|
|          | I            | II | III | IV |       |
| Maxilla  | 1            | 10 | 10  | 5  | 26    |
| Mandible | 16           | 17 | 5   | 3  | 41    |

결 과

1. 골질의 분류

본 연구에서 분석을 시행한 임플란트 식립부위는 총 67개의 부위로 상악이 26증례, 하악이 41증례였다. 골질의 분류 결과 상악에는 골질 II와 III이 각각 10개로 가장 많았으며, 골질 I은 가장 적은 빈도로 나타났다. 그러나 하악에서는 골질 I이 16개, 골질 II가 17개로 하악 골질 분류의 대부분을 차지하여 상악의 골질 분포와 큰 차이를 보였다 (Table 2).

2. 상관관계 분석

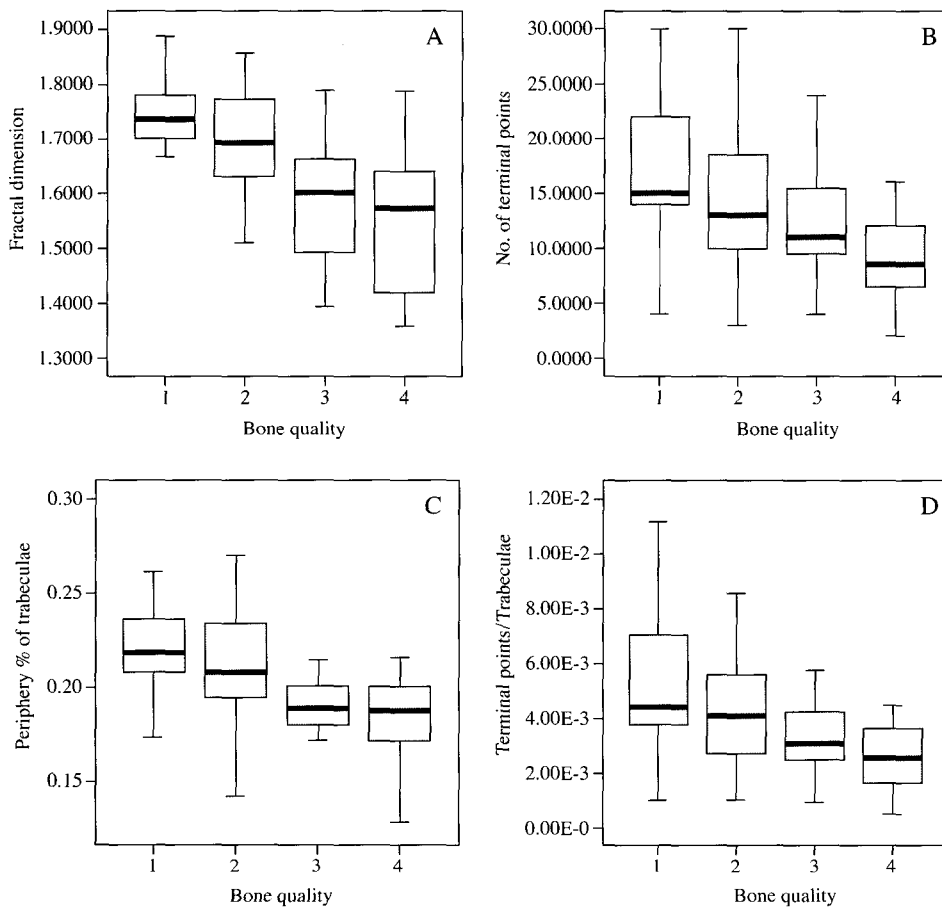
각각의 골질 분류에 따른 형태계측학적 분석치의 평균과 표준편차를 산출하였다. 그 결과 terminal point의 수, 골소주 면적에 대한 외곽선 길이의 비, 골소주 면적에 대한 terminal point 수의 비 및 프랙탈 차원의 총 4개의 항목에서 각각의 골질 분류에 해당하는 값이 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 (ANOVA,  $p < 0.05$ ) (Table 3) (Fig. 2). 특히 프랙탈 차원과 골소주 면적에 대한 외곽선의 길이 비는 골질 I과 골질 III, 골질 II와 골질 IV 등의 두 단계 이상의 격차가 있는 골질 등급 사이에서 유의성 있는 차이를 보였고, terminal point의 수와 골소주 면적에 대한 terminal point 수의 비는 골질 I과 골질 IV가 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 4).

피어슨 상관관계 분석에서 임상적 골질 분류와 다수의 형태계측학적 분석치 간의 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다 (Table 5). 골소주 면적에 대한 골격의 길이의 비,

**Table 3.** Summary statistics of morphometric and fractal analysis

| Morphologic feature             | Bone quality |       |       |       |       |       |       |       | P value |
|---------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|                                 | I            |       | II    |       | III   |       | IV    |       |         |
|                                 | Mean         | SD    | Mean  | SD    | Mean  | SD    | Mean  | SD    |         |
| <b>Parameters</b>               |              |       |       |       |       |       |       |       |         |
| Mean gray level                 | 137.6        | 28.1  | 127.2 | 29.6  | 135.6 | 23.9  | 131.8 | 30.0  | .660    |
| Trabecular area                 | 3319         | 531   | 3414  | 873   | 3605  | 341   | 3450  | 667   | .632    |
| Periphery                       | 736.3        | 90.9  | 715.5 | 150.9 | 690.0 | 87.3  | 707.0 | 120.0 | .344    |
| Skeletonized trabeculae         | 395.7        | 7.08  | 397.6 | 109.2 | 391.8 | 67.9  | 394.9 | 91.3  | .996    |
| Number of segments              | 5.53         | 2.98  | 4.89  | 3.67  | 4.38  | 1.92  | 4.88  | 3.05  | .732    |
| Mean length of segments         | 122.3        | 117.5 | 167.1 | 181.5 | 120.1 | 70.5  | 137.2 | 135.1 | .509    |
| Number of terminal points       | 16.76        | 6.64  | 13.85 | 6.56  | 12.80 | 5.40  | 12.76 | 6.41  | .035*   |
| Number of branch points         | 50.76        | 18.02 | 50.52 | 25.63 | 47.13 | 22.18 | 49.37 | 22.10 | .942    |
| <b>Derivatives</b>              |              |       |       |       |       |       |       |       |         |
| Periphery % of trabeculae       | 0.225        | 0.028 | 0.215 | 0.032 | 0.194 | 0.028 | 0.183 | 0.027 | .002*   |
| Length/trabecular area          | 0.120        | 0.014 | 0.116 | 0.010 | 0.108 | 0.018 | 0.110 | 0.018 | .095    |
| Terminal points/length          | 0.044        | 0.022 | 0.037 | 0.020 | 0.037 | 0.021 | 0.037 | 0.020 | .106    |
| Terminal points/periphery       | 0.023        | 0.009 | 0.019 | 0.008 | 0.019 | 0.009 | 0.014 | 0.006 | .086    |
| Terminal points/trabecular area | 0.005        | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.013 | .042*   |
| Branch points/length            | 0.127        | 0.334 | 0.121 | 0.035 | 0.116 | 0.035 | 0.113 | 0.040 | .802    |
| Branch points/periphery         | 0.069        | 0.020 | 0.069 | 0.032 | 0.067 | 0.028 | 0.070 | 0.026 | .993    |
| Branch points/trabecular area   | 0.015        | 0.005 | 0.014 | 0.005 | 0.013 | 0.05  | 0.013 | 0.006 | .533    |
| Branch points/terminal points   | 3.59         | 2.07  | 4.52  | 3.35  | 4.76  | 3.89  | 5.87  | 2.52  | .338    |
| Fractal dimension               | 1.722        | 0.090 | 1.693 | 0.091 | 1.590 | 0.114 | 1.553 | 0.125 | .000*   |

\*:  $p < 0.05$  (ANOVA)



**Fig. 2.** Diagram showing statistically significant differences in morphologic parameters among the bone quality levels. A, Fractal dimension, B, Number of terminal points, C, Periphery % of trabeculae, D, Number of terminal points to trabecular area ratio.

**Table 4.** Turkey's test of parameters showing significant differences in ANOVA

| Parameters                      | Bone quality |      |      |    |
|---------------------------------|--------------|------|------|----|
|                                 | I            | II   | III  | IV |
| Number of terminal points       | a            | a, b | a, b | b  |
| Periphery % of trabeculae       | a            | a, b | b, c | c  |
| Terminal points/trabecular area | a            | a, b | a, b | b  |
| Fractal dimension               | a            | a, b | b, c | c  |

The same letters indicate non-significant difference between groups based on Turkey's multiple comparison test.

골격의 길이에 대한 terminal point 수의 비, 골 외곽선 길이에 대한 terminal point 수의 비가 각각 상관계수  $-0.276$ ,  $-0.280$ ,  $-0.289$ 로 임상적 골질 등급과 약한 음의 선형상관관계를 보였다 ( $p < 0.05$ ). 그리고 terminal point의 수와 골소주 면적에 대한 골 외곽선 길이의 비, 골소주 면적에 대한 terminal point 수의 비는 골질 등급과 뚜렷한 음의 선형상관관계를 보였으며, 각각의 상관계수는  $-0.346$ ,  $-0.448$ ,  $-0.343$ 이었다 ( $p < 0.05$ ). 또한 프랙탈 차원은 상관계수  $-0.506$ 으로 가장 뚜렷한 음의 선형상관관계를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

## 고 찰

임플란트 식립 부위의 골밀도는 장기적으로 악골 내 식립된 임플란트의 성공률을 결정짓는 중요한 요소 중의 하나이다.<sup>17,18</sup> Misch<sup>15,19</sup>는 임플란트의 성공률을 높이기 위해서는 우선 골질에 대한 평가가 있어야 하며, 골질이 좋지 않은 부위에 식립한 임플란트는 그렇지 않은 경우보다 더 긴 치유기간과 점진적 부하가 필수적이라고 하였다.

골질을 평가하는 가장 확실한 방법은 직접 골생검을 시행하여 확인하는 방법일 것이다. 실제로 Trisi 등<sup>4</sup>과 Friberg 등<sup>7</sup>은 골생검을 시행하여 조직형태측정학적 분석을 통해 골질을 평가하였다. 그러나 임플란트 식립부위의 골

질 평가를 위해 골생검을 시행하는 것은 임상에서의 시행하기가 쉽지 않다. 대부분의 임상자들은 방사선사진 상에서 골질을 예상한 후 임플란트 식립 시에 손으로 느껴지는 골의 저항감을 기준으로 골질을 최종적으로 평가한다. Truhlar 등<sup>3</sup>과 Trisi 등<sup>4</sup>은 임플란트 식립 중 경험 있는 술자의 손의 감각을 이용해 악골 내 골질의 분포를 분류하였다. 그러나 이러한 골질의 분류는 주관적일 수밖에 없고, 충분한 임상경험이 없는 시술자에게는 어려운 작업일 것이다. 이러한 배경에서 골의 저항감을 정량화하기 위해 임플란트 식립 시 컴퓨터를 이용해 토크를 측정하고 이를 기준으로 골질을 분류하는 방법이 소개되었고, 여러 저자들이 이 방법으로 평가한 골질과 방사선학적으로 예측한 골질의 연관성을 연구하였다.<sup>5,6,20</sup> 그러나 이 방법 역시 장비가 고가일 뿐만 아니라 임상적 적용이 어렵다는 단점이 있어 널리 사용되지는 않는다.<sup>4</sup> 임플란트를 식립하는 임상가가 가장 쉽게 응용할 수 있는 골질 평가 기준은 자신이 직접 시술하면서 느끼는 골의 저항감이다. 대부분 시술 전에 골질을 예측하기 위해 방사선사진을 이용하지만 최종적인 골질의 확인은 진료실 내에서 이루어진다. 이러한 이유로 본 실험에서는 충분한 경험이 있는 임상가가 임플란트 식립 시 손으로 느끼는 저항감을 기준으로 골질을 평가, 분류하였다.

지금까지 여러 가지의 악골 골질의 분류법이 발표되었다. Lekholm 등<sup>21</sup>은 피질골과 해면골의 비율을 기준으로 골질을 4단계로 분류하였다. 이 분류법은 다수의 연구에 인용되고 있지만 실제적인 적용에는 한계가 있는 것으로 보인다. 전신적 과거력이 없는 대부분의 악골은 골질 II와 III이 대부분이고, 골질 I과 같이 대부분 피질골로만 구성되어 있는 골은 그 빈도가 극히 제한적이다. 또한 임플란트 식립 시 드릴이 골을 절삭할 때 느껴지는 저항감은 대부분 해면골의 골밀도와 연관이 있는 것으로 보인다. 골질과 임플란트의 실패율의 관련성을 밝힌 이전의 연구에서, 골질과 연관하여 실패한 임플란트의 대부분이 Lekholm과

**Table 5.** Correlation between morphometric parameters and bone quality

|                     | Mean gray level   | Trabecular area        | Periphery                 | Skeletonized trabeculae     | No. of segments        | Mean length of segments     | No. of terminal points  | No. of branch points | Periphery of % trabeculae |
|---------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| Pearson correlation | -0.057            | 0.149                  | -0.222                    | -0.022                      | -0.136                 | -0.070                      | -0.346*                 | -0.069               | -0.448*                   |
| sig. (2-tailed)     | .645              | .229                   | .071                      | .862                        | .272                   | .575                        | .004                    | .581                 | .000                      |
|                     | Length/trabeculae | Terminal points/length | Terminal points/periphery | Periphery points/trabeculae | Terminal points/length | Trabeculae points/periphery | Branch point/trabeculae | Branch terminal      | Fractal dimension         |
| Pearson correlation | -0.276*           | -0.280*                | -0.289*                   | -0.343*                     | -0.118                 | 0.000                       | -0.167                  | 0.208                | -0.506*                   |
| sig. (2-tailed)     | .024              | .022                   | .018                      | .005                        | .341                   | .998                        | .176                    | .092                 | .000                      |

\*:  $p < 0.05$

Zarb의 골질 분류 등급 IV에 해당하였다.<sup>3,16,22-24</sup> 이러한 결과들을 보면 임상적으로 의미 있는 임플란트 식립부위의 골질은 피질골보다는 해면골의 성질에 의해 결정되는 것으로 보인다. 본 연구에서는 해면골의 특성에 따른 골질 분류를 시행하고자 하였고, 골을 절삭할 때 술자의 손으로 느껴지는 저항감을 기준으로 골질을 4등급으로 평가, 분류하였다. 드릴을 이용하여 골을 절삭하는 과정에서 처음 피질골을 관통할 때와 최종 깊이에 가까이 가서 드릴이 갑속하는 단계에서는 순수 해면골의 골질에 대한 저항감의 평가가 어렵다.<sup>20</sup> 따라서 각각의 드릴이 피질골을 관통한 후 중앙 1/3부위의 골을 절삭할 때의 저항감을 평가하였고, 방사선사진에서도 임플란트의 중앙 1/3부위에 해당하는 해면골을 관심영역으로 설정하였다.

골질을 예측하는 가장 일반적인 방법은 방사선사진을 이용하는 것이다. 흔히 QCT를 이용하여 BMD (bone mineral density)를 측정하는 방법으로 골질을 예측하거나<sup>25</sup> DEXA를 이용한 골밀도 측정법을 사용하지만,<sup>26</sup> 영상 획득 및 처리과정 자체가 고가이고 장비가 준비된 곳이 많지 않아 진단을 위한 일반적인 사용에는 한계가 있다.<sup>8</sup> 그 외에 전산화 단층촬영을 시행한 후 관심영역의 Hounsfield Unit으로 골밀도를 측정하거나,<sup>27</sup> 흑화도계를 이용하여 골밀도를 예측하는 것이 가능하다.<sup>28</sup> 그럼에도 불구하고 아직까지 대부분의 임상들이 임플란트 식립 전에 골질의 평가를 위해서 가장 선호하는 방사선영상은 파노라마 방사선사진이다. 그러나 파노라마 방사선사진이나 치근단 방사선사진은 동일한 개체를 촬영한다고 하더라도 그 촬영조건 및 필름의 처리 과정에 따라 방사선사진 상에서의 흑화도 및 대조도가 매우 광범위한 차이를 보이기 때문에 악골의 골질을 정량화하는데 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 도입된 것이 골소주 특유의 형태학적 특성을 검사하는 방법이다.

White 등<sup>8,29</sup>은 형태계측학적 분석은 진단에 유효한 수준에서 원본 영상의 방사선사진의 흑화도 혹은 촬영 시 조사 각도의 차이에 영향을 받지 않는다고 하였다. 또한 그는 골다공증 환자에서의 골소주 패턴 변화를 관찰하기 위해 치근단 방사선사진을 이용하여 형태계측학적 분석을 시행하였다. 그 결과 골다공증 환자와 관련하여 외곽선의 길이, 골소주 면적에 대한 골 외곽선 길이의 비 이외에 단위면적 당 terminal point의 수 및 골격 길이에 대한 terminal point 수의 비 등이 대조군과 유의한 차이가 있다고 발표하였다. 그리고 이들이 골다공증 환자의 골질변화와 관련이 있다고 발표한 형태계측학적 분석치 항목은 본 연구에서 골질 등급에 따라 유의한 차이를 보인 분석치의 항목과 일치하였다. 골소주 면적에 대한 골 외곽선 길이의 비, 골소주 면적에 대한 골격 길이의 비, 단위면적 당 terminal point의 수, 골격 길이에 대한 terminal point 수의 비, 골 외곽선 길이에 대한 terminal point 수의 비, 골소주

면적에 대한 terminal point 수의 비의 총 6개의 항목이 임상적 골질 분류와 유의한 관련이 있었다. 프랙탈 분석 시행 결과 프랙탈 차원은 피어슨 상관관계 계수  $-0.506$ 으로 위의 형태계측학적 분석치들보다 임상적 골질 분류와 더 뚜렷한 음의 선형상관관계를 보였다.

구강악안면방사선촬영역에서 프랙탈 분석은 여러 조건에서 골다공증이 이환된 악골의 골질 평가를 위해 사용되었다.<sup>14,30-32</sup> Ruttimann 등<sup>11</sup>은 치근단 방사선사진을 이용한 연구 결과 상에 의해 탈회된 골에서 프랙탈 차원이 증가하며, 작은 범위( $\pm 5^\circ$ )의 방사선 촬영 각도 변화에 의해 그 값이 변하지 않는다고 하였다. Southard 등<sup>12,13</sup>은 프랙탈 차원이 치조골의 골밀도와 연관이 있으며, 골밀도가 높을수록 프랙탈 차원이 증가한다고 하였다. 또한 Wojtowicz 등<sup>33</sup>은 태아의 악골 단면에서 계산한 프랙탈 차원을 통해 골이 성장할수록 골소주 패턴이 복잡해지는 것을 설명하였고, Nair 등<sup>34</sup>과 Heo 등<sup>35</sup>은 골 치유과정에서 시간이 지남에 따라 프랙탈 차원이 증가한다고 보고하였다.

방사선사진에서 골소주 패턴에 대한 프랙탈 분석은 임상적으로 수용할 만한 수준에서 방사선조사 각도나 방사선 조사량과 같은 촬영조건에 영향을 받지 않는다고 알려져 있다.<sup>11,36</sup> 그러나 영상처리 과정에서 발생하는 noise나 영상처리 방법 등의 요인에 큰 영향을 받는다.<sup>10,35</sup> 또한 프랙탈 분석은 여러 조건에 따라 상이한 결과를 나타내기 때문에 제한적으로 사용되어야 한다.<sup>10,37</sup> 실험에 따라 프랙탈 차원의 결과가 다른 것은 실험설계의 차이 및 실험대상이 되는 골의 해부학적 차이에서 기인한다.<sup>10</sup> 또한 프랙탈 차원을 얻기 위해 각기 다른 방사선 영상매체를 사용하는 것이 이유일 수도 있다.<sup>10</sup> Southard 등<sup>12</sup>은 여러 연구에서 서로 다른 프랙탈 분석법을 사용하기 때문에 그 결과의 차이가 있다고 하였다. 또한 Lee 등<sup>38</sup>은 관심영역의 위치 및 모양에 따라 프랙탈 차원이 다른 값을 보인다고 하였다.

대부분의 연구에서 프랙탈 차원을 구하기 위해 치근단 방사선사진을 이용하였다. 치근단 방사선사진은 실제적인 골소주 패턴의 명확한 관찰이 가능한 것에 비해 파노라마 방사선사진은 상의 번짐이나 왜곡이 심해 골소주 패턴의 분석에 제약이 따른다. 그러나 Wilding 등<sup>39</sup>은 파노라마 방사선사진을 이용한 프랙탈 분석으로 임플란트 식립 후 골의 재형성을 평가할 수 있다고 하였다. 또한 Bollen 등<sup>9</sup>은 악골의 골질 평가를 위해 치근단 방사선사진과 파노라마 방사선사진을 함께 촬영하여 각각 프랙탈 분석을 시행하였고, 그 결과 치근단 방사선사진과 파노라마 방사선사진을 이용한 프랙탈 분석이 모두 유의한 결과를 보였다고 밝혔다. 본 연구에서도 골질의 평가를 위해 파노라마 방사선사진을 이용해 프랙탈 분석 및 형태계측학적 분석을 시행하여 유의한 결과를 얻었다. 관심영역을 설정하는 과정에서 전치부와 같이 심한 상의 변형이 관찰되는 부위는

실험에서 제외하였다. 또한 골소주가 육안으로 확인되지 않는 흐린 영상도 실험대상에서 배제하였다. 엄격한 조건 하에서 관심영역을 설정한다면 파노라마 방사선사진을 이용한 프랙탈 분석은 가능한 것으로 생각된다. 그러나 역시 파노라마 방사선사진은 치근단 방사선사진에 비하여 심한 상의 왜곡 및 인접 구조물간의 상의 중첩 등으로 인해 정확히 골질을 평가를 하는데 제약이 있어 제한적으로 사용하여야 할 것이다.

결론적으로 골질이 우수할수록 프랙탈 차원은 증가하였다. 이는 프랙탈 차원이 골소주 양상의 복잡성을 반영하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 형태계측학적 분석에서 골질 등급이 높을수록 골소주 면적에 대한 골 외곽선 길이의 비와 terminal point의 수 및 그 외 terminal point 수와 관련한 분석치가 증가하는 경향을 보이는 결과도 같은 이유에서이다. 이는 프랙탈 분석 및 형태계측학적 분석이 골질 평가를 위한 유용한 방법임을 시사한다. 치과영역에서 디지털 방사선사진의 사용이 보편화되어 가고 있고, 분석을 위한 영상의 획득 및 처리과정이 간단해지고 있으므로 임플란트 식립 전 골질 평가를 위해 프랙탈 및 형태계측학적 분석법이 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 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, Kroger H. Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scand J Dent Res* 1994; 102 : 68-72.
- Truhlar RS, Orenstein IH, Morris HF, Ochi S. Distribution of bone quality in patients receiving endosseous dental implants. *J Oral Maxillofac Surg* 1997; 55 : 38-45.
- Trisi P, Rao W. Bone classification: clinical-histomorphometric comparison. *Clin Oral Implants Res* 1999; 10 : 1-7.
- Tricio J, van Steenberghe D, Rosenberg D, Duchateau L. Implant stability related to insertion torque force and bone density: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 1995; 74 : 608-12.
- Johansson P, Strid K-G. Assessment of bone quality from cutting resistance during implant surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1994; 9 : 279-88.
- Friberg B, Sennerby L, Roos J, Johansson P, Strid CG, Lekholm U. Evaluation of bone density using cutting resistance measurements and microradiography: an in vitro study in pig ribs. *Clin Oral Implants Res* 1995; 6 : 164-71.
- 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.
- Bollen AM, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG. Fractal dimension on dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30 : 270-5.
- Geraets WG, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29 : 144-53.
- 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.
- 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.
- 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.
- White SC. Oral radiographic predictors of osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 84-92.
- Misch CE. Divisions of available bone in implant dentistry. *Int J Oral Implantol* 1990; 7 : 9-17.
- Smith TG Jr, Marks WB, Lange GD, Sheriff WH Jr, Neale EA. A fractal analysis of cell images. *J Neurosci Methods* 1989; 27 : 173-80.
- Morris HE, Ochi S, Crum P, Orenstein I, Plezia R. Bone density: its influence on implant stability after uncovering. *J Oral Implantol* 2003; 29 : 263-9.
- Engquist B, Bergendal T, Kallus T, Linden U. A retrospective multicenter evaluation of osseointegrated implants supporting overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1988; 3 : 129-34.
- Misch CE. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading. *Int J Oral Implantol* 1990; 6 : 23-31.
- Beer A, Gahleitner A, Holm A, Tschabitscher M, Homolka P. Correlation of insertion torques with bone mineral density from dental quantitative CT in the mandible. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14 : 616-20.
- Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In: Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. *Tissue-Integrated Prosthesis: Osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence; 1985. p.199-209.
- Jaffin RA, Berman CL. The excessive loss of Branemark fixtures in type IV bone: a 5-year analysis. *J Periodontol* 1991; 62 : 2-4.
- Saadoun AP, LeGall ML. Clinical results and guidelines on Steri-Oss endosseous implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1992; 12 : 486-95.
- Fugazzotto PA, Wheeler SL, Lindsay JA. Success and failure rates of cylinder implants in type IV bone. *J Periodontol* 1993; 64 : 1085-7.
- Rosenthal DI, Ganott MA, Wyshak G, Slovick DM, Doppelt SH, Neer RM. Quantitative computed tomography for spinal density measurement. Factors affecting precision. *Invest Radiol* 1985; 20 : 306-10.
- Pouilles JM, Tremolieres F, Todorovsky N, Ribot C. Precision and sensitivity of dual-energy x-ray absorptiometry in spinal osteoporosis. *J Bone Miner Res* 1991; 6 : 997-1002.
- Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Implants Res* 2001; 12 : 79-84.
- Akdeniz BG, Oksan T, Kovanlikaya I, Genc I. Evaluation of bone height and bone density by computed tomography and panoramic radiography for implant recipient sites. *J Oral Implantol* 2000; 26 : 114-9.
- White SC, Rudolph DJ, Ma L. Influence of X-ray beam angulation and exposure on morphologic features of trabecular bone. *Int J Oral Biol* 1999; 24 : 17-23.
- Law AN, Bollen AM, Chen SK. Detecting osteoporosis using dental radiographs: a comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996; 127 : 1734-42.
- Shrout MK, Jett S, Mailhot JM, Potter BJ, Borke JL, Hildebolt CF. Digital image analysis of cadaver mandibular trabecular bone patterns. *J Periodontol* 2003; 74 : 1342-7.
- 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. Wojtowicz A, Chaberek S, Pirino A, Montella A, Bandiera P, Kinsner A, et al. The trabecular structure of developing human mandible. *Clin Orthod Res* 2001; 4 : 161-71.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. Veenland JF, Grashius JL, van der Meer F, Beckers AL, Gelsema ES. Estimation of fractal dimension in radiographs. *Med Phys* 1996; 23 : 585-94.
38. Lee KI, Choi SC, Park TW, You DS. Fractal dimension calculated from two types of region of interest. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 284-9.
39. Wilding RJ, Slabbert JC, Kathree H, Owen CP, Crombie K, Delpont P. The use of fractal analysis to reveal remodelling in human alveolar bone following the placement of dental implants. *Arch Oral Biol* 1995; 40 : 61-72.