

# 프랙탈 분석을 통한 임플란트 주변골 평가

부산대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실  
정연화

## Evaluation of peri-implant bone using fractal analysis

Yun-Hoa Jung

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 of successive panoramic radiographs of bone after implant placement is useful in the characterization of structural change in alveolar bone.

**Materials and Methods** : Twelve subjects with thirty-five implants were retrospectively followed-up from one week to six months after implantation. Thirty-six panoramic radiographs from twelve patients were classified into 1 week, 1-2 months and 3-6 months after implantation and digitized. The windows of bone apical and mesial or distal to the implant were defined as periapical region of interest (ROI) and interdental ROI; the fractal dimension of the image was calculated.

**Results** : There was not a statistically significant difference in fractal dimensions during the period up to 6 months after implantation. The fractal dimensions were higher in 13 and 15 mm than 10 and 11.5 mm implant length at interdental ROIs in 3-6 months after implantation ( $P < 0.01$ ).

**Conclusion** : Longer fixtures showed the higher fractal dimension of bone around implant. This investigation needs further exploration with large numbers of implants for longer follow-up periods. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol 2005; 35 : 121-5*)

**KEY WORDS** : Fractals; Dental implants; Bone; Radiography, Panoramic

### 서 론

임플란트 식립 후 골의 반응은 환자에게 결정적으로 중요하다. 이를 위해 임플란트 기술을 개발하고 임플란트와 골 사이에 상호 의존할 수 있는 융합이 일어날 수 있도록 하기 위하여 오랜 기간동안 노력해왔다.<sup>1</sup> 임플란트 식립 후 임플란트에 하중이 가해지기 전에 3-6개월의 치유기간이 필요하며,<sup>2</sup> 임플란트의 성공을 위해 인접한 골의 상태와 유지관리가 중요하다.

임플란트 시술 후에 방사선학적으로 골수준의 변화를 관찰하는 것도 필요하지만, 보철 치료를 하기 전에 임플란트 주변골의 상태를 정확히 평가하여 적절한 시기에 보철물을 해주는 것도 임플란트 시술시 중요할 것이다.

높은 임플란트 성공률에도 불구하고 골질 (bone quality)이 불량하거나 골부피가 감소하여 실패하는 경우도 있다.<sup>3-5</sup> 이를 방지하기 위해서는 임플란트 시술 전 뿐만 아니라 시술 후에도 적절한 골지지를 확인하기 위하여 일정한 간격을 두고 주위골을 검사하는 것이 필요하다. 주기적으로 촬영되는 방사선사진에서 이러한 변화를 찾기 위한 노력이 이루어지고 있는데 계수 공제를 위해서는 표준화가 이루어지지 않으면 비교가 어렵다. 방사선사진을 이용한 골소주에 대한 프랙탈 차원은 분석방법에 따라 결과가 달라질 수 있지만,<sup>6</sup> 골소주의 구조는 방사선 촬영 조건에 비교적 덜 민감하므로 프랙탈 차원으로 골소주의 구조를 정량화해줄 수 있고, 연속적으로 촬영되는 방사선사진에서 변화를 관찰하는 것이 가능할 것이다.

골밀도와 골소주 방향의 변화는 비선형적이고 무질서하다. 프랙탈 기하학은 구조물의 형태가 균일하고 규칙적이지 않더라도, 구조물들을 기하학적 용어로 정량화하여 특성을 표현할 수 있도록 해준다.<sup>7</sup> 따라서 골소주가 프랙탈 구조의 특성인 자기 유사성을 가지고 있다는 것은 놀라운

\*이 논문은 부산대학교병원 연구비를 지원받아 연구되었음.  
접수일: 2005년 6월 1일; 심사일: 2005년 6월 2일; 채택일: 2005년 7월 28일  
Correspondence to: Prof. Yun-Hoa Jung  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Pusan National University, Ami-dong, 1-ga, Seo-gu, Busan, South Korea, 602-739  
Tel) 82-51-240-7474, Fax) 82-51-245-8388, E-mail) yhjung@pusan.ac.kr

사실이 아니다.<sup>8</sup> 프랙탈 분석은 방사선사진에서 골소주의 구조를 평가하기 위해 이용되어 골소주의 복잡성을 측정 해주었고,<sup>9,10</sup> 방사선사진의 프랙탈 차원이 골밀도 변화와 관련되는 것으로 보고되었으며,<sup>11</sup> 골의 부분적 탈회에도 영향을 주는 것으로 밝혀졌다.<sup>12</sup>

프랙탈 차원은 골개조, 골재생 및 골소실을 비침습적으로 측정해 주는데 사용될 수 있으며, 이러한 접근법은 객관적일뿐만 아니라 방사선사진의 흑화도 (radiodensity), 조사 각도 (geometrical projection), 골소주의 배열 (alignment of bone trabeculae) 등에 비교적 영향을 받지 않고 측정될 수 있었고,<sup>13</sup> 무릎관절을 촬영시마다 재위치시켰을 때 프랙탈 차원은 표준편차  $\pm 0.046$ 으로 재현할 수 있음이 보고되었다.<sup>11</sup>

실험적으로 골 표본을 이용한 연구에서 프랙탈 차원이 생물 기계적 강도와 통계학적으로 상관관계가 있음을 보여주었고,<sup>14</sup> 임상분야에서 건강한 골과 재생된 골에 대한 프랙탈 분석 결과 건강한 골의 프랙탈 차원이 더 높았으며 이러한 사실은 새로 형성된 해면질골 구조가 덜 복잡함을 확인시켜 주었다.<sup>15</sup> 방사선사진의 프랙탈 차원 분석은 정상군과 골다공증군을 구별해 주는데 응용되기도 하였고,<sup>12,16-19</sup> 치주질환<sup>20</sup>과 임플란트<sup>1</sup> 등과 같은 치의학 분야에서도 이용되었다.

본 연구에서는 파노라마 방사선사진의 임플란트 시술 후 경과시간에 따른 임플란트 주변골 프랙탈 차원을 분석하여 임플란트 식립 후 골변화를 관찰하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료

임플란트 (Osseotite<sup>®</sup>, 3i Implant Innovations, West Palm Beach, FL, USA)를 식립한 18명 환자 (남자 11명, 여자 7명)의 임플란트 식립 1주 후, 1-2개월 후 및 3-6개월 후에 촬영한 파노라마 방사선사진 54장을 검사하였다. 파노라마 방사선사진은 PM 2002 CC 촬영기 (Planmeca, Helsinki, Finland)를 사용하여 촬영되었다. 18명 환자의 파노라마 방사선사진 중에서 bone augmentation을 시술받은 5명과 치근단 부위에서 관심영역 (Region of interest, ROI)을 설정하기 어려웠던 1명을 제외한 12명 환자에게 촬영한 36매 파노라마 방사선사진을 연구재료로 하였고, 35개 부위에 10 mm, 11.5 mm, 13 mm, 15 mm 길이와 4 mm, 5 mm 직경의 임플란트가 식립되어 있었다.

### 2. 영상처리

현상된 파노라마 방사선사진을 flatbed scanner (ArtixScan 1100, Microtek International Inc., Hsinchu, Taiwan)를 이용하여 63.5  $\mu$ m pixel 해상도로 디지털화하였고, Adobe사의

Photoshop 프로그램 (Ver 8.0, Adobe Systems Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 임플란트 치근단 부위와 치간 부위의 영상에 대하여 각각 50 $\times$ 50과 30 $\times$ 90 픽셀 크기의 ROI를 선택하였다. 35개 치근단 부위 중 주변 해부학적 구조물과 중첩되거나 근접하여 ROI를 설정하기 어려웠던 14개 부위를 제외한 21개 치근단 부위와 70개 치간 부위 중에서 인접치와 근접하여 ROI 선택이 힘들었던 30개 부위를 제외한 40개 치간 부위에서 ROI를 선택하여 치근단 부위에 63개, 치간 부위에 120개 총 183개의 ROI 영상을 얻었다. 21개 치근단 ROI에 식립된 임플란트 길이는 10 mm 1개, 11.5 mm 5개, 13 mm 11개, 15 mm 4개였고, 40개 치간 ROI에서는 10 mm 1개, 11.5 mm 4개, 13 mm 14개, 15 mm 5개였다. 임플란트 직경은 치근단 ROI에서 4 mm 14개, 5 mm 7개였고, 치간 ROI에서 4 mm 18개, 5 mm 6개이었으며 치간 ROI는 근심과 원심 중 한쪽만 선택한 경우도 있었다.

모든 ROI 영상을 White와 Rudolph<sup>18</sup>에 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 이원영상 (binary image)으로 만들었다. 이 이원영상을 한번씩 erosion과 dilation시켜 noise를 감소시켜 준 후 골격화 영상 (skeletonized image)으로 전환하였다.

### 3. 프랙탈 차원 분석

영상처리를 통하여 얻어진 183개 골격화 영상에서 Image J software 1.33u (National Institutes of Health, USA)를 이용하여 box-counting method로 프랙탈 차원 값을 계산하였다. 임플란트 시술 후 경과시간에 따라 치근단 ROI와 치간 ROI의 프랙탈 차원을 분석하였고, 임플란트 식립 후 경과시간별로 임플란트 길이와 직경의 차이에 대한 프랙탈 차원도 각각 분석하였다. 임플란트 길이에 따른 프랙탈 차원 분석 시 10 mm는 표본수가 부족하여 11.5 mm와 함께 평가하였다

### 4. 통계분석

임플란트 식립 후 경과시간에 따른 프랙탈 차원의 차이는 repeated measures ANOVA로 분석되었고, 임플란트 길이에서 프랙탈 값의 차이는 ANOVA로 평가되었다. 임플란트 직경에 따른 프랙탈 차원의 차이를 평가하기 위하여 독립 t-검정이 시행되었고, 모든 통계과정은 SPSS (Ver 10.0 for windows, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다.

**Table 1.** Fractal dimensions after implantation at successive periods for each ROI

Time periods	Periapical ROI		Interdental ROI	
	no	FD	no	FD
After 1 wk	21	1.2002±0.1596	40	1.1786±0.1008
After 1 to 2 mo	21	1.2148±0.1204	40	1.1957±0.1270
After 3 to 6 mo	21	1.2201±0.1000	40	1.1984±0.1100
Total	63	1.2117±0.1273	120	1.1909±0.1125

Values are mean±SD. FD=fractal dimension

**Table 2.** Fractal dimensions according to implant length at periapical ROIs

Implant length	no.	After 1 wk	After 1 to 2 mo	After 3 to 6 mo
10 mm, 11.5 mm	6	1.1330±0.1666	1.2158±0.1300	1.1863±0.1210
13 mm	11	1.2337±0.1687	1.2392±0.1264	1.2468±0.0853
15 mm	4	1.2091±0.1241	1.1464±0.0827	1.1971±0.1115
Total	21	1.2002±0.1596	1.2148±0.1204	1.2201±0.1000

Values are mean±SD.

**Table 3.** Fractal dimensions according to implant length at interdental ROIs

Implant length	no.	After 1 wk	After 1 to 2 mo	After 3 to 6 mo*
10 mm, 11.5 mm	9	1.1490±0.0901	1.1479±0.0937	1.0764±0.0800
13 mm	25	1.2134±0.0824	1.1895±0.1399	1.2378±0.0875
15 mm†	6	1.0781±0.1178	1.2929±0.0452	1.2177±0.1112
Total	21	1.1786±0.1008	1.1957±0.1270	1.1984±0.1100

Values are mean±SD. \*statistically significant ( $P < 0.01$ ) †statistically significant ( $P < 0.05$ )

## 결 과

### 1. 연구대상

임플란트 주변골에서 치근단 부위 ROI와 치간 부위 ROI의 프랙탈 차원을 측정할 수 있었던 연구대상의 평균 연령은 41.3세±11.15이었으며 남자 9명, 여자 3명이었다.

### 2. 프랙탈 차원 분석

임플란트 시술 후 경과시간에 따른 치근단 ROI와 치간 ROI의 프랙탈 차원 값이 통계학적으로 유의성은 없었으나 시술 후 시간이 경과할수록 임플란트 주변골의 프랙탈 차원 평균값이 증가하였다(Table 1). 임플란트 길이에 따른 프랙탈 차원 분석 결과 치근단 부위에서 통계학적으로 유의성있는 차이가 없었고(Table 2), 치간 부위에서 3-6개월 후에 10 mm와 11.5 mm 프랙탈 차원 값이 1.0764±0.0800

**Table 4.** Fractal dimensions according to implant width at periapical ROIs

Implant width	no.	After 1 wk	After 1 to 2 mo	After 3 to 6 mo
4 mm	14	1.2246±0.1632	1.2278±0.1106	1.2161±0.1084
5 mm	7	1.1515±0.1517	1.1889±0.1437	1.2279±0.0883
Total	21	1.2002±0.1596	1.2148±0.1204	1.2201±0.1000

Values are mean±SD.

**Table 5.** Fractal dimensions according to implant width at interdental ROIs

Implant width	no.	After 1 wk	After 1 to 2 mo	After 3 to 6 mo
4 mm*	28	1.1668±0.1068	1.2161±0.1122	1.2090±0.1177
5 mm	12	1.2063±0.0828	1.1481±0.1507	1.1738±0.0892
Total	40	1.1786±0.1008	1.1957±0.1270	1.1984±0.1100

Values are mean±SD. \*statistically significant ( $P < 0.05$ )

으로 13 mm와 15 mm보다 낮았으며( $P < 0.01$ ), 15 mm 는 1 주후 프랙탈 차원보다 1-2개월 후와 3-6개월 후가 통계학적으로 유의성 있게 높았다( $P < 0.05$ ) (Table 3). 임플란트 직경에 따른 치근단 부위 프랙탈 차원도 통계학적으로 유의성 있는 차이가 없었으나(Table 4), 치간 부위에서는 4 mm 직경에서 1주 후보다 1-2개월 후와 3-6개월 후 프랙탈 차원이 통계학적으로 유의성있게 높았다( $P < 0.05$ ) (Table 5).

## 고 찰

악골의 질은 악골의 형태 및 양과 함께 임플란트 성공 여부를 결정하는데 있어서 아주 중요한 요소이며,<sup>21</sup> 이를 평가하기 위해 적절한 진단 도구를 사용하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 임플란트 식립 후 시간이 경과함에 따라 나타나는 임플란트 주변골의 변화를 프랙탈 차원으로 측정하여 분석하였다.

Lin 등<sup>22</sup>은 방사선사진의 프랙탈 차원을 분석하여 대퇴골 표본에서 해면질골의 구조 양식을 정량화하였고, 프랙탈 차원이 골강도와 통계학적으로 유의성있는 상관관계가 있음을 보여 주었다. 방사선사진에서 표면의 거칠 정도(textural roughness)는 해면골량과 관련이 있었으며,<sup>11</sup> 골다공증<sup>18</sup>과 겸상 적혈구성 빈혈을 가진 환자<sup>23</sup>의 악골에 대해 형태계측학적 분석을 시행한 결과 악골 내의 골소주 양상이 대조군과 비교했을 때 변화가 있음이 보고되었다. 한 등<sup>24</sup>의 연구에서는 프랙탈 차원 값과 골 미세구조의 형태계측학적 분석 항목들이 골의 기계적 강도와 뚜렷한 선형 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 임플란트 시술 후 경과시간에 따른 프랙탈

차원의 변화를 살펴본 결과 임플란트 주변골의 프랙탈 차원이 통계학적인 유의성은 없었으나 임플란트 시술 후 시간이 경과할수록 프랙탈 평균값이 증가되었으며 이는 골 밀도가 점점 증가되는 것과 관련이 있음을 예측할 수 있었다. 임플란트 시술 후 경과시간에 따라 각각의 임플란트 길이와 직경의 프랙탈 차원 변화를 평가한 결과 치간 부위에서 15 mm와 4 mm가 1주 후보다 1-2개월 후와 3-6개월 후 프랙탈 차원이 통계학적으로 유의성있는 증가를 보여주어 치근단 부위보다 치간 부위의 프랙탈 차원이 임플란트 주변골 평가에 도움이 되는 것을 알 수 있었다. 다른 부위와 크기에서 통계학적으로 유의성있는 증가는 보이지 않았으나 보다 다양한 표본을 이용한 조사가 필요한 것으로 보인다.

Meijer 등<sup>25</sup>은 임플란트 길이는 스트레스 수준에 거의 영향을 주지 않음을 보고하였으나, 일반적으로 임플란트 매식체의 길이가 길수록 실패율이 낮은 것으로 보고되었다.<sup>4,26</sup> 본 연구결과에서도 임플란트 식립 3-6개월 후에 11.5 mm보다 긴 임플란트 주변골의 프랙탈 차원이 더 높았다. Matsushita 등<sup>27</sup>은 임플란트 표면적이 증가되면 더 많은 피질골을 수용할 수 있고 피질골내의 스트레스는 임플란트 직경이 증가할수록 감소함을 발견하였으며, 임상 연구에서 3.75 mm 직경 임플란트보다 4 mm 직경 임플란트에서 성공률이 높음을 보여주었다.<sup>26</sup> 그러나 본 연구에서는 직경에 따른 프랙탈 차원값은 통계학적으로 유의성있는 차이가 없었다.

Wyatt 등<sup>28</sup>의 연구에서 저작력이 가해진 1년 내에 남성에서 골소실이 더 많으나, 1년간 평균 골소실량은 남성과 여성 간에 차이가 없었으며, 남성에서 임플란트 인접골은 외과적 술식이나 보철물에 의한 초기 저작력 때문에 더 많은 흡수경향을 보이는 것으로 추론되었다. 본 연구에서는 저작력이 가해지기 전에 여성과 남성 간 임플란트 주변골의 차이를 조사하고자 하였으나 표본수의 차이가 많아서 비교가 어려웠다.

악궁의 부위에 따른 골밀도는 일반적으로 하악골이 상악골보다 더 높았고, 전방부가 후방부보다 더 치밀하였고,<sup>29</sup> 골밀도는 악궁의 위치에 의해 영향을 받는다는 사실이 Devlin 등<sup>30</sup>의 연구에서 보고되었다. 악궁의 부위에 따라 임플란트 주변골의 프랙탈 차원을 비교하고자 하였으나, McMillan 등<sup>31</sup>의 연구와 같이 실제로 연구 대상의 대부분이 하악대구치 부위였고 상악과 하악 전방부가 부족하여 전방부와 후방부위의 비교가 힘들었으므로 앞으로 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각되어진다.

본 연구에서 임플란트 시술 후 시간 경과에 따른 주변골의 프랙탈 차원을 분석한 결과 전체적인 프랙탈 차원 증가는 통계학적으로 유의성이 없었으나 치간 부위에서 길이가 긴 임플란트의 프랙탈 차원이 시간이 경과할수록 증가되는 것으로 나타나 치근단 부위보다 치간 부위의 프

랙탈 차원이 주변골 평가에 도움이 되는 것으로 예상되며 임플란트 시술 후 주변골의 변화를 평가하여 적절한 보철 치료 시기를 결정하는데 도움이 될 것으로 보여진다. 이를 위해 다양한 임플란트 크기와 부위 및 많은 환자를 대상으로 하는 연구가 계속되어야 하고 지대치 연결 후의 골 변화에 대한 연구도 필요할 것으로 사료되어진다.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. Branemark P, Zarb GA, Albrektsson T. *Tissue-integrated prostheses : osseointegration in Clinical Dentistry*. 1st ed. Chicago: Quintessence publishing co.; 1985. p. 223-8.
3. 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.
4. Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early failures in 4641 consecutively placed Brånemark dental implants. A study from stage I surgery to the connection of completed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991; 6 : 142-6.
5. Jaffin RA, Berman CL. The excessive loss of Brånemark fixtures in type IV bone. A 5-year analysis. *J Periodontol* 1991; 62 : 2-4.
6. Majumdar S, Lin J, Link T, Millard J, Augat P, Ouyang X, et al. Fractal analysis of radiographs: assessment of trabecular bone structure and prediction of elastic modulus and strength. *Med Phys* 1999; 26 : 1330-40.
7. Weibel ER. Fractal geometry: a design principle for living organisms. *Am J Physiol* 1991; 261 (6 Pt 1) : L361-9.
8. Weinans H, Huiskes R, Grootenboer HJ. The behaviour of adaptive bone-remodelling simulation models. *J Biomech* 1992; 25 : 1425-41.
9. Faber TD, Yoon DC, White SC. Fourier analysis reveals increased trabecular spacing in sickle cell anemia. *J Dent Res* 2002; 81 : 214-8.
10. Fazzalari NI, Parkinson IH. Fractal dimension and architecture of trabecular bone. *J Pathol* 1996; 178 : 100-5.
11. Lynch JA, Hawkes DJ, Buckland-Wright JC. A robust and accurate method for calculating the fractal signature of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees. *Med Inform* 1991; 16 : 241-51.
12. Ruttiman 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.
13. Ulm C, Kneissel M, Schedle A, Solar P, Matejka M, Schneider B, et al. Characteristic features of trabecular bone in edentulous maxillae. *Clin Oral Impl Res* 1999; 6 : 459-67.
14. Link TM, Majumdar S, Konermann W, Meier N, Lin JC, Newitt D, et al. Texture analysis of direct magnification radiographs of vertebral specimens: correlation with bone mineral density and biomechanical properties. *Acad Radiol* 1997; 4 : 167-76.
15. Wojtowicz A, Chaberek S, Kryst L, Urbanowska E, Ciecchowicz K, Ostrowski K. Fourier and fractal analysis of maxillary alveolar ridge repair using platelet rich plasma (PRP) and inorganic bovine bone. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2003; 32 : 84-6.
16. Law A, Bollen A, Chen S. Detecting osteoporosis using dental radio-

- graphs: a comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996; 127 : 1734-42.
17. Caligiuri P, Giger ML, Favus M. Multifractal radiographic analysis of osteoporosis. *Med Phys* 1994; 21 : 503-8.
  18. 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.
  19. White SC. Oral radiographic predictors of osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 84-92.
  20. 차상윤, 한원정, 김은경. 치주질환 진단시 프랙탈 분석의 유용성에 관한 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 2001; 31 : 35-42.
  21. Tatum OH Jr, Lebowitz MS. Anatomic considerations for dental implants. *J Oral Implantol* 1991; 17 : 16-21.
  22. Lin JC, Grampp S, Link T, Kothari M, Newitt DC, Felsenberg D, et al. Fractal analysis of proximal femur radiographs: correlation with biomechanical properties and bone mineral density. *Osteoporos Int* 1999; 9 : 516-24.
  23. White SC, Cohen JM, Mourshed FA. Digital analysis of trabecular pattern in jaws of patients with sickle cell anemia. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29 : 119-24.
  24. 한승윤, 이선복, 오성욱, 허민석, 이삼선, 최순철, 등. 디지털방사선영상에서 추출한 해면질골의 강도와 미세구조의 형태계측학적 분석에 대한 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 2003; 33 : 113-9.
  25. Meijer HJ, Kuiper JH, Starmans FJ, Bosman F. Stress distribution around dental implants: influence of superstructure, length of implants, and heights of mandible. *J Prosthet Dent* 1992; 68 : 96-102.
  26. Van Steenberghe D, Lekholm U, Bolender C, Folmer T, Henry P, Herrman I, et al. The applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: A prospective multicenter study of 558 fixtures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5 : 272-81.
  27. Matsushita Y, Kitoh M, Mizuta K, Ikeda H, Suetsugu T. Two-dimensional FEM analysis of hydroxyapatite implants: diameter effects on stress distribution. *J Oral Implantol* 1990; 16 : 6-11.
  28. Wyatt CC, Zarb GA. Bone level changes proximal to oral implants supporting fixed partial prostheses. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13 : 162-8.
  29. Bryant B. The effects of age, jaw site, and bone condition on oral implant outcome. *Int J Prosthodont* 1998; 11 : 470-90.
  30. Devlin H, Horner K, Ledgerton K. A comparison of maxillary and mandibular bone mineral densities. *J Prosthet Dent* 1998; 79 : 323-7.
  31. McMillan PJ, Riggs ML, Bogle GC, Crigger M. Variables that influence the relationship between osseointegration and bone adjacent to an implant. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000; 15 : 654-61.