

치조 골소주 모폴로지 특성과 골다공증의 연관관계에 대한 연구

원광대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실,
*원광대학교 치과대학 치과보존학교실, 원광 치의학 연구소
이창진 · 장훈상* · 이병도

Relationship between the morphologic features of alveolar trabecular bone and systemic osteoporosis

Chang-Jin Lee, Hoon-Sang Chang*, Byung-Do Lee

Department of Oral & Maxillofacial Radiology, *Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Wonkwang University, Wonkwang Dental Research Institute

ABSTRACT

Purpose : The purpose of this study was to investigate the preliminary use of morphologic operation (MO) in analyzing trabecular pattern of alveolar bone for the predicting systemic osteoporosis.

Materials and Methods : Study subjects consisted of 35 females (average age 48.5 years) and 25 males (average age 25.8 years). Bone mineral density BMD (grams/cm²) of lumbar spine and proximal femur of these subjects were measured by a dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). Regions of interest (ROIs) were selected from the digitized periapical radiographs of subjects' posterior jaw. A custom computer program processed morphology operations of ROIs. We compared mean values of 11 MO variables according to the osteoporotic group divided by the T-scores of DEXA. We also studied correlation between radiographic density and these MO variables.

Results : The mean radiographic densities insignificantly correlated with MO variables. There were statistically significant differences among the values of 9 MO variables according to the osteoporotic group.

Conclusion : Morphologic operation can be effective in analyzing trabecular pattern of alveolar bone for the predicting osteoporosis. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 141-6)

KEY WORDS : Osteoporosis; Radiography; Jaw

서 론

최근에 고령화로 인해 골다공증에 대한 관심이 높아지고 있으며, 노인들의 골절은 행동제한으로 인한 사망을 초래할 수도 있으므로 각별한 주의를 요한다. 전신적으로 골다공증이 진행되는 경우 요추, 대퇴골, 요골 등의 골밀도가 감소되어 골절되는 비율이 높다고 알려져 있다.¹⁻³ 전신적 골밀도를 평가하기 위해서 이중방사선흡수계측법(dual energy X-ray absorptiometry, DEXA),^{4,5} 정량적 전산화 단층촬영술(quantitative computed tomography),^{6,7} 초음파촬영술(Ultrasonography)^{5,8} 등이 이용되고 있으나 악골 밀도를 측

정하는 데에는 여러 가지 제약이 있으므로 대개는 일반 방사선 사진을 촬영하여 방사선사진흑화도 및 골형태 변화를 평가하는 것이 일반적이다. 만약 방사선사진흑화도가 증가되어 있거나 악골 높이가 감소되어 있는 경우에는 악골밀도 감소는 물론 전신적인 골다공증을 의심해 볼 수 있다.¹²⁻¹⁸ Kribbs 등¹⁹은 microdensitometry법을 이용하여 연구한 결과 골다공증 환자군에서 하악골의 골밀도가 감소되어 보인다고 하였고, Payne 등²⁰은 CADIA(computer assisted densitometric image analysis)를 이용하여 폐경여성을 분석한 결과 치조골 방사선사진흑화도가 증가되어 보인다고 하였다. 그러나 방사선사진흑화도 변화 평가방법은 골소실이 현저한 경우에 한해 흑화도 변화가 관측되기 때문에 민감도가 뛰어나다고 할 수 없다. 또한 관전압, 관전류 및 노출시간등의 X선 조사 요인과 현상조건에 따라서 방사선사진흑화도가 일정하지 않게 표현되기 때문에 신뢰성에 의문이 든다. Richards 등²¹은 방사선사진흑화도를 참조

* 이 논문은 2005년도 원광대학교 교비지원에 의해서 연구됨
접수일 : 2005년 7월 7일; 심사일 : 2005년 7월 8일; 채택일 : 2005년 8월 8일
Correspondence to : Prof. Byung-Do Lee
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Wonkwang University, 344-2, Shinyong dong, Iksan city, Chnubuk, Korea. 570-711
Tel) 82-63-850-1912, Fax) 82-63-857-4002, E-mail) cebydo@wonkwang.ac.kr

체 두께로 표현하여 노출, 현상조건에 따른 방사선사진흡화도 변화를 보완하고자 하였으나 이 방법 또한 비선형의 관계를 보이며 구내방사선 필름에 매년 참조체를 부착하는 문제는 번거로운 일이 아닐 수 없다.

최근에 디지털 방사선사진으로부터 골구조를 형상학적으로 분석하는 방법인 모폴로지 기법 (Morphologic Operation, MO) 은 초기 골구조 변화를 인지할 수 있는 가능성으로 인해 주목받고 있으며²² X선 조사각도, 노출조건 변화 등이 MO값에 영향을 거의 미치지 않는다고 보고되어²³ 골밀도를 비교 분석하는 방법으로 가치가 있다고 생각한다.

Structuring element를 기반으로 한 MO법은 조직학적인 관점에서 골 구조를 관찰하고 정량화하려는 목적으로 응용되었으며^{24,26} 최근에는 방사선사진을 이용한 평가가 시

도되고 있다.^{27,28} 방사선 사진상에서는 골소주와 골수강의 형상을 기반으로 하여, 골소주의 골격화된 상(skeletonized image)으로부터 여러 가지 MO 분석항목(MO variables) 값을 얻을 수 있으며, 이러한 MO 분석항목은 골다공증 환자와 정상인을 분류하는데 기여한다고 보고된 바 있다.²²

만약 치근단 방사선사진을 이용한 MO 기법이 골량을 정량화 하는데 도움을 주어 골량을 비교 분석하는데 유효하다면 일반 치과의원에서 전신적인 초기골다공증을 진단하는데 기여할 것으로 예상된다. 이에 저자들은 치근단 방사선 사진으로부터 MO 골격화된 영상(skeletonized image)을 생성할 수 있는 프로그램을 이용하여 치조 골소주 골격상을 생성하였고, 여기에서 얻어진 MO 분석항목과 전신 골밀도치와의 연관관계를 조사하여 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

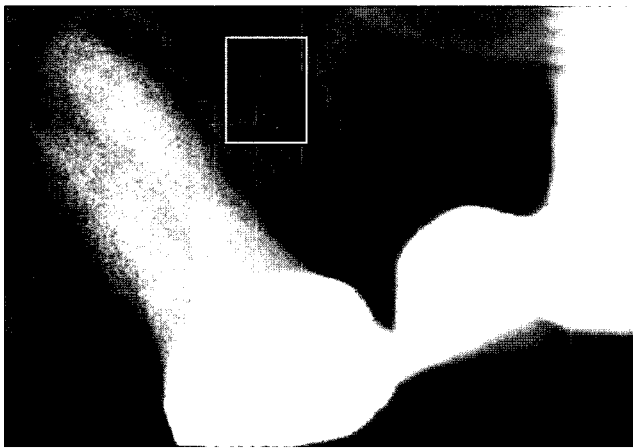


Fig. 1. Region of Interest in the periapical view.

재료 및 방법

1. 치조골 방사선사진흡화도

여성 35명(평균 연령 48.5세), 남성 25명(평균 연령 25.8세)을 연구대상으로 하였고 연구대상자의 상,하악골 후방 부위를 치근단 방사선사진 촬영하였으며 이때 치근단 필름(Kodak Ektaspeed)에 Copper step wedge (0.03~0.27 mm, 9계단)를 치아와 겹치지 않는 부위에 부착하였다. 현상된 방사선사진을 flatbed scanner (Epson GT-9600 scanner, Japan)로 scanning (600 dpi spatial resolution, 8-bit depth contrast resolution) 한 후 컴퓨터에 저장하였다. 상악과 하악골 제1소구치와 제2소구치, 제1대구치와 제2대구치 치근사이의 치간골(interdental bone)부위, 혹은 치근이 없는 치조골

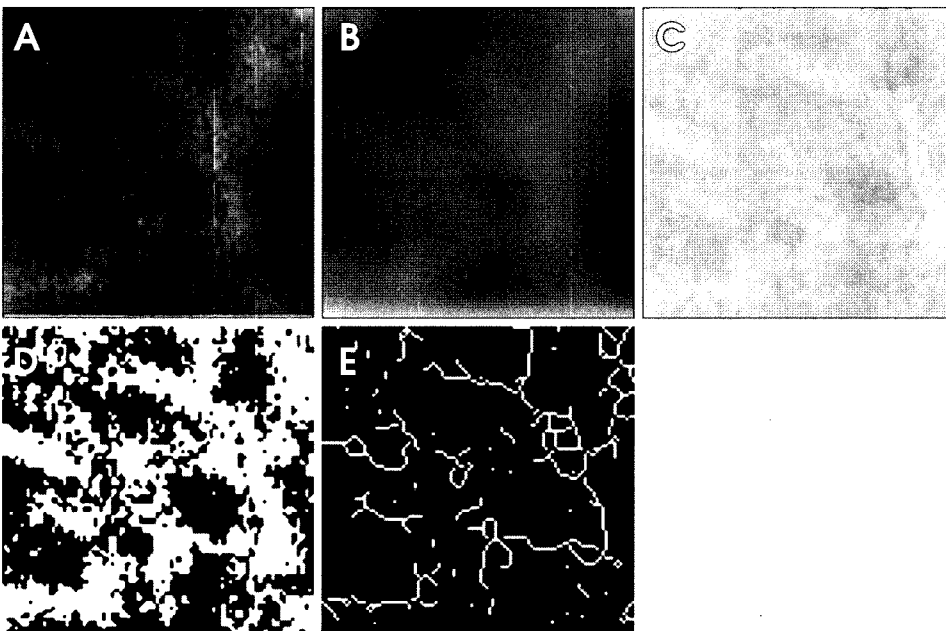


Fig. 2. An example of morphologic operation of ROI. A: original image, B: blurred image, C: subtracted image (A-B), D: Binary image, E: Skeletonized image.

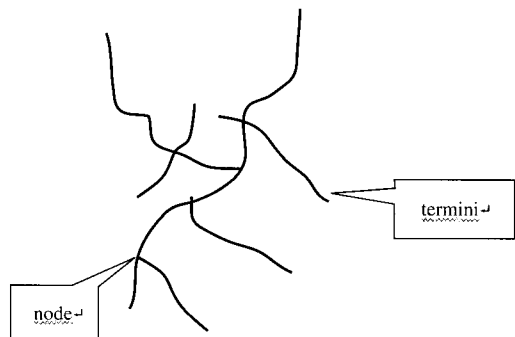


Fig. 3. An example of node, termini of skeletal images.

부위를 관심영역 (Region of Interest, ROI)으로 하여 총 136 개의 관심영역을 설정 하였으며 치간골 부위 관심영역 설정시 치조능, 치조백선등이 겹치지 않게 하였다 (Fig. 1).

관심영역의 방사선사진흑화도는 동시에 촬영된 참조체의 두께로 표시될 수 있는데 이미지 처리 프로그램인 Scion program (Scion Corporation, Frederick, USA) 내의 변환관계 식에 의해 구리 두께의 등가치로 환산되었다.

2. 모폴로지 기법 (Morphologic operation, MO)

방사선사진흑화도 측정시 이용된 관심영역을 MO측정시에도 동일하게 이용하였다. 개인이 개발한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 디지털 방사선사진상의 관심영역을 blurring 시켰으며 이때 Gaussian filter의 sigma값을 10 정도로 설정하였다. 원래의 상에서 blurring된 상을 subtraction처리한 후 subtraction된 상(S)을 다시 blurring (bl)시킨 후 (S-bl)상을 얻었다. 이 과정을 다시 2번 더 반복한 후 최종적으로 얻어진 상에 계조도 128을 가산한 (adding gray value 128) 후, 계조도 128을 중심으로 하는 이진상 (binary image)을 구하였으며 침식 (erosion), 팽창 (dilation) 등의 MO기법을 이용하여 이진화된 상의 central axis만이 남는 골격화된 상 (skeleton image)을 얻도록 하였다 (Fig. 2). 골격화된 상으로부터 strut특성을 측정한 후 방사선사진흑화도와 특히 관련성이 있다고 생각되는 11개의 MO 분석항목 (Table 1), (Fig. 3)을 구하여 본 연구에 이용하였다. Strut은 node와 node간의 골소주를 의미하며 MO 분석항목의 기본단위로 사용되었다.

3. 전신 골밀도

이중에너지방사선흡수계측법 (DEXA, Hologic, USA)을 사용하여 모든 연구 대상자의 요추 (Lumbar1 ~ Lumbar4)부위와 대퇴골부위 (femur neck)의 골밀도 (g/cm^2)를 측정하고 각각의 T scores를 구하였다. 세계보건기구 (World Health Organization) 기준에 의거, 연구 대상자의 골밀도가 건강성인의 골밀도와 비교하여 표준편차 (standard deviation, T

Table 1. Examples of morphologic variables used in this study

Variable	Abv.
n Perimeter pixels of bone/sq cm ROI	Pm/Ar.RI
n Perimeter pixels of bone/sq cm bone in ROI	PmB/Ar.RI
n pixels in bone in ROI/n pixels in ROI	Ar.B/Ar.RI
mm tot strut len/sq cm ROI	TSL/Ar.RI
mm tot strut len/sq cm bone	TSL/ArB
tot no struts/cm sq ROI	TSN/Ar.RI
tot no struts/cm sq Bone	TSN/Ar.B
n Nodes/mm tot Skeletal strut len	N.Nd/TSL
Node:Terminus ratio	N.Nd/N.Tm
tot numer Node-Terminus struts/tot number struts	N.NdTm/TSN
tot number Node-Node struts/tot number struts	N.NdNd/TSN

N: number, sq: square, tot: total, len: length, ROI: Region of Interest

Table 2. Pearson correlation coefficients between radiographic density and 11 MO variables

MO variable	Correlation coefficients
Pm/Ar.RI	-0.109
PmB/Ar.RI	-0.215*
Ar.B/Ar.RI	0.224*
TSL/Ar.RI	0.000
TSL/Ar.B	-0.114
TSN/Ar.RI	-0.140
TSN/Ar.B	-0.201*
N.Nd/TSL	-0.182*
N.Nd/N.Tm	0.162
N.NdTm/TSN	-0.167
N.NdNd/TSN	-0.102

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

score) 1.0 이상 감소되면 골감소증 (osteopenia), 2.5 이상 차이가 날 때 골다공증 (osteoporosis)이라고 분류하였으며, 각 연구 대상자의 관심 영역들은 정상, 골감소증, 골다공증의 3군으로 분류하였다.

4. 통계처리 (SPSS 10.0 이용)

구리 등가치로 표현된 관심영역의 방사선사진 흑화도와 morphologic operation을 통해 얻어진 11개의 MO 분석항목 (Table 1)과의 Pearson 상관계수를 구하였다. 그리고 DEXA를 통하여 구분된 골다공증 그룹 (정상, 골감소증, 골다공증)에 따라 관심영역을 3그룹으로 나눈후 각 그룹간의 11개 MO값 차이에 대해 ANOVA분석과 Scheffe사후 분석을 통하여 통계학적 유의성 여부를 연구하였다.

결 과

1. 치조골 방사선사진 흑화도와 MO 분석항목과의 상관관계

number Perimeter pixels of bone/square cm bone in ROI,

Table 3. ANOVA analysis of radiographic density and MO values difference according to the osteoporotic group

Variable	Group	Mean	S.D	P
radiodensity	Normal ^(a)	16.39 ^c	3.34	< .0001
	Penia ^(b)	14.69 ^c	3.90	
	Porosis ^(c)	11.90 ^{a, b}	4.31	
Pm/Ar.RI	Normal ^(a)	10490.0 ^c	993.5	< .0001
	Penia ^(b)	10223.2 ^c	1293.0	
	Porosis ^(c)	11419.2 ^{a, b}	1307.3	
PmB/Ar.RI	Normal ^(a)	23284.8 ^c	2333.5	< .0001
	Penia ^(b)	23111.6 ^c	2947.1	
	Porosis ^(c)	26451.7 ^{a, b}	4000.8	
Ar.B/Ar.RI	Normal ^(a)	.45	0.02	.105
	Penia ^(b)	.44	0.03	
	Porosis ^(c)	.43		
TSL/Ar.RI	Normal ^(a)	179.53	21.39	.009
	Penia ^(b)	171.21 ^c	30.67	
	Porosis ^(c)	189.55 ^b	25.10	
TSL/Ar.B	Normal ^(a)	396.46 ^c	40.15	< .0001
	Penia ^(b)	384.27 ^c	60.70	
	Porosis ^(c)	436.17 ^{a, b}	54.46	
TSN/Ar.RI	Normal ^(a)	682.33 ^c	136.84	< .0001
	Penia ^(b)	663.66 ^c	153.03	
	Porosis ^(c)	806.74 ^{a, b}	184.88	
TSN/Ar.B	Normal ^(a)	1511.0 ^c	333.6	< .0001
	Penia ^(b)	1497.6 ^c	345.1	
	Porosis ^(c)	1871.8 ^{a, b}	481.3	
N.Nd/TSL	Normal ^(a)	1.76 ^c	.38	< .0001
	Penia ^(b)	1.67 ^c	.35	
	Porosis ^(c)	2.00 ^{a, b}	.41	
N.Nd/N.Tm	Normal ^(a)	1.10 ^c	.24	0.24
	Penia ^(b)	.98	.30	
	Porosis ^(c)	.93 ^a	.20	
N.NdTm/TSN	Normal ^(a)	.40	0.09	0.123
	Penia ^(b)	.37	.11	
	Porosis ^(c)	.42	0.09	
N.NdNd/TSN	Normal ^(a)	.31 ^b	0.07	0.007
	Penia ^(b)	.36 ^a	0.08	
	Porosis ^(c)	.34	0.06	

Radiographic density was expressed as equivalent stepwedge thickness, Scheffe's multiple comparisons were indicated by values which have the same letter^(a-c)

Normal if both femoral and lumbar T-scores were > -1, osteopenic if the lowest T-score was <= -1 and >= -2.5, and osteoporotic if either T-score was < -2.5.

total number struts/cm square Bone, number Nodes/mm total Skeletal strut length 등은 방사선사진흑화도와 통계학적으로 유의한 역 상관관계를 보였고 number pixels in bone in ROI/number pixels in ROI는 통계학적으로 유의한 정상 상관관계를 보였다 (Table 2).

2. 골다공증군에 따른 MO 분석항목

관심영역을 정상, 골감소증, 골다공증의 3군으로 분류한

후 11개의 MO 분석항목에 대한 3군간의 차이를 ANOVA를 통하여 검증한 결과는 Table 3과 같이 9개의 MO 분석항목에서 대체적으로 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며 개별 비교에서 정상군과 골다공증군, 골감소증군과 골다공증군간에 일반적으로 유의한 차이를 보였다. MO값은 정상군에 비해 골감소증군에서 낮았고 골감소증군에 비해 골다공증군에서는 크게 나타났다 (Table 3).

고 찰

골다공증은 골량 감소와 수질골 구조 변화를 동반하는 질환으로 연령증가, 폐경등이 주요 요인으로 꼽히고 있다.²⁹⁻³¹ 골다공증을 진단하기 위해서는 골밀도 측정을 하는 경우가 많은데 이중방사선흡수계측법으로 요추와 대퇴골 부위의 골밀도를 측정 후 이 골밀도치를 기준으로 전신적 골다공증 이환여부를 진단하는 것이 일반적이다.

방사선사진흑화도 차이 분석을 통해 골량의 변화를 평가하는 방법에는 시각적, 광학농도계 및 컴퓨터를 이용하는 방법등이 있다. 시각적으로 방사선사진흑화도 변화를 판별하기 위해서는 30-50%의 골량 변화가 있어야 가능한데 비해 최근의 컴퓨터 분석법은 골량 변화를 보다 예민하게 감지하며 디지털공제술^{32,33} 등을 통해 골량이 변화된 부위를 강조할 수도 있게 되었다. 방사선사진흑화도 변화 분석시 또 하나 고려해야할 점은 노출시간이나 촬영각도, 현상조건등의 요인등에 의해 방사선사진흑화도가 표준화되지 못하고 영상마다 상이하게 표현된다는 점이다. 일련의 방사선사진흑화도를 표준화하는 방법중의 하나는 최근 단 방사선사진을 디지털화 한 다음 계조도 (gray value)로 표현된 방사선사진흑화도를 참조체 (stepwedge) 두께로 표현하는 방법이다. 동시에 촬영된 참조체 두께가 얇게 표현이 된다면 측정된 골조직의 양이 감소되어 있다고 추정할 수 있을 것이다. 본 연구에서 11 MO 분석항목과 참조체 두께로 표시된 방사선사진흑화도와의 상관성을 연구한 결과 n Perimeter pixels of bone/sq cm bone in ROI, tot no struts/cm sq Bone, n Nodes/mm tot Skel strut len 등은 통계학적으로 유의한 역 상관관계를 보였지만 n pixels in bone in ROI/n pixels in ROI는 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다. 이와 같이 본 연구에서 방사선사진흑화도와 MO 분석항목간의 연관성을 나타낸 항목이 많지는 않았지만 새로운 MO 분석항목 채택, 관심영역의 크기 조절 등을 통해 이에 대한 연구가 더욱 필요하다고 사료된다.

골의 물리적 강도를 유지하기 위해서는 골밀도 뿐 아니라 골구조가 중요하다.³⁴ 그동안 골다공증에 대하여 골밀도 측정에 관한 연구들이 많았으나 최근에 골구조와 관계되는 방사선학적 연구들이 보고되고 있으며 Shroud 등²⁷과 Kashima 등²⁸은 치과방사선 사진상에서 골 소주 변화와 골다공증과의 연관 관계에 대해 MO기법을 응용하여 연구한

바 있다. 모폴로지 기법은 structuring element를 기반으로 하는 이미지 처리 기법으로 특정 픽셀의 잡음을 제거할 수도 있고 한 픽셀을 두 픽셀로 확장시킬 수도 있다. MO 기법 실행시 침식, 팽창 연산 및 열림, 닫힘 연산 등이 수행되며 각 연산들은 독립적으로 사용되기도 하지만 몇 개의 연산을 병행하여 수행하는 경우도 많다.²⁸ 본 연구에서도 Fig. 2에서와 같이 골격화된 영상을 얻기 위해 MO 연산이 적용되었다. 그러나 이와 같은 MO 기법은 사용자에게 따라 침식, 팽창 등의 연산 처리 횟수가 달라질 수 있기 때문에, strut 값이 이에 따라 달라질 수 있다고 생각하며, 최적의 영상을 얻기 위한 다각도의 노력이 필요하다고 할 수 있겠다.

모폴로지 기법의 장점으로는 골소주의 길이나 갯수 등의 측정이 가능하며 이러한 정량화된 자료(strut variables)들은 골다공증을 예측시 보다 객관적이고 분석적인 토대가 된다는 점, 방사선촬영각도나 현상조건등의 변화에 영향을 받지 않고 골량자료들이 측정될 수 있다는 점 등이 가치가 있다고 생각한다. 최근에는 여러가지 MO 분석항목을 연구하여, 특정 항목들이 골다공증 환자와 정상인을 분류할 수 있는지의 여부를 파악하는데 연구초점이 모아지고 있다. White 등²²은 24가지 morphologic features를 이용하여 골다공증 환자를 분석한 결과 terminal points 수가 주요 인자라 하였고, sickle cell anemia 환자군에는 skeletal branch points per square centiment가 정상군에 비해 적게 나타난다고 보고 한 바 있다.³⁵ 본 연구에서 관심영역을 정상, 골감소증, 골다공증의 3군으로 분류한 후 11개의 MO 분석항목에 대한 3군간의 차이를 검증한 결과는 대개 정상군과 골다공증군, 골감소증군과 골다공증군에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며 MO값은 정상군에 비해 골감소증군에서 감소된 소견을 보였고 골감소증군에 비해 골다공증군에서는 크게 나타났다. 만약 이러한 MO 분석항목이 골수질 구조의 복잡성(complexity)을 대변하는 것이라면 Gowin 등³⁶의 연구결과와 부분적으로 일치되는 면이 있으며 앞으로 이에 대한 많은 연구가 진행되는 것이 바람직하다고 사료된다.

본 연구를 통하여 MO를 이용한 골소주 구조 분석시 몇 가지 고려할 점이 있다고 생각한다. 관심영역의 크기가 MO값에 영향을 미칠 수도 있다. Taguchi 등⁶은 관심영역의 크기가 정량적 전산화단층촬영술로 측정된 하악골 밀도 측정의 재현성(precision)에 영향을 미친다고 언급하였고 Shroud 등³⁷은 관심영역의 크기와 MO값간에 밀접한 관계가 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 관심영역이 치간골에 위치하는 경우에는 크기가 제한될 수 밖에 없었고, 또한 참조체가 부착되어 있어서 치조골부위가 방사선사진 상에서 재현되는데 한계가 있었다. 앞으로의 연구에서는 참조체를 부착하지 않은 상태에서의 치근단 촬영, 보다 넓은 관심영역을 채택하거나 파노라마방사선사진 상에서의

MO값 측정 등이 이루어지는 것이 바람직하다고 생각한다. 또한 본 연구에서는 참조체를 부착하고 평행 촬영이 용이하리라고 생각하였던 구치부를 대상으로 관심영역을 설정하였다. Southard 등³⁸은 상악 전치부가 해면골 비율이 상대적으로 높기 때문에 골소주 검사를 위해서는 상악 전치부가 적당하다고 보고한 바 있으며 앞으로의 연구에서는 전치부를 포함한 치조골의 모든 부위를 대상으로 연구를 진행하는 것도 흥미 있으리라고 생각한다. 나이가 들에 따라 골다공증이 진행되고 특히 폐경후의 여성에서 골다공증이 빈발한다는 것은 익히 알려져 있는 사실이다.^{29,30} 비록 본 연구에서 모든 연구 대상자가 DEXA를 이용한 골밀도 검사를 통하여 T score가 산출되었다 하더라도, MO값과 골소주 분석을 통하여 전신 골밀도 연관관계 분석을 위해서는 폐경연령을 조사하고 그 외 체중, 운동여부, 잔존치아 상태 등 임상적인 요소 등을 분석대상에 포함시켜 연구를 진행하는 것이 효율적일 수 있다고 생각한다.

본 연구를 통하여 골다공증 여부를 예측하기 위하여 치조 골소주 모폴로지 특성을 분석하는 방법이 효과적일 수 있음을 보여주고 있으며 앞으로 MO를 이용한 다양한 골소주 분석 연구가 다양하게 진행된다면 이의 유효성 여부를 판단하는데 도움이 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Wasserman SH, Barzel US. Osteoporosis: the state of the art in 1987: a review. *Semin Nucl Med* 1987; 17 : 283-92.
2. Consensus conference: Osteoporosis. *JAMA* 1984; 252 : 799-802.
3. Who are candidates for prevention and treatment for osteoporosis? *Osteoporos Int* 1997; 7 : 1-6.
4. Kin K, Kushida K, Yamazaki K, Okamoto S, Inoue T. Bone mineral density of the spine in normal Japanese subjects using dual-energy X-ray absorptiometry: effect of obesity and menopausal status. *Calcif Tissue Int* 1991; 49 : 101-6.
5. Leszczynski P, Lacki JK, Mackiewicz SH. Osteoporosis in ankylosing spondylitis: comparison of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and quantitative ultrasonography (QUS). *Przegl Lek* 2003; 60 : 562-4.
6. Taguchi A, Tanimoto K, Ogawa M, Sunayashiki T, Wada T. Effect of size of region of interest on precision of bone mineral measurements of the mandible by quantitative computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20 : 25-9.
7. Cann CE, Genant HK, Kolb FO, Ettinger B. Quantitative computed tomography for prediction of vertebral fracture risk. *Bone* 1985; 6 : 1-7.
8. Chen T, Chen PJ, Fung CS, Lin CJ, Yao WJ. Quantitative assessment of osteoporosis from the tibia shaft by ultrasound techniques. *Med Eng Phys* 2004; 26 : 141-5.
9. Gluer CC, Eastell R, Reid DM, Felsenberg D, Roux C, Barkmann R, et al. Association of five quantitative ultrasound devices and bone densitometry with osteoporotic vertebral fractures in a population-based sample: the OPUS Study. *J Bone Miner Res* 2004; 19 : 782-93.
10. Yang NP, Lin T, Wang CS, Chou P. Correlation of osteoporosis screening by quantitative ultrasound of calcaneus and osteoporosis

- self-assessment tool for Asians in Taiwanese. *J Formos Med Assoc* 2004; 103 : 130-6.
11. Agnusdei D, Cepollaro C, Camporeale A, Gennari C. Ultrasonography techniques in the evaluation of the osteoporotic patient. *Minerva Endocrinol* 1992; 17 : 169-72.
 12. Law AN, Bollen AM, Chen SK. Detecting osteoporosis using dental radiographs: a comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996; 27 : 1734-42.
 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. 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.
 15. Kribbs PJ. Comparison of mandibular bone in normal and osteoporotic women. *J Prosthet Dent* 1990; 63 : 218-22.
 16. von Wowern N, Kollerup G. Symptomatic osteoporosis: a risk factor for residual ridge reduction of the jaws. *J Prosthet Dent* 1992; 67 : 656-60.
 17. Taguchi A, Tanimoto K, Sueti Y, Ohama K, Wada T. Relationship between the mandibular and lumbar vertebral bone mineral density at different postmenopausal stages. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25 : 130-5.
 18. Horner K, Devlin H. Clinical bone densitometric study of mandibular atrophy using dental panoramic tomography. *J Dent* 1992; 20 : 33-7.
 19. 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.
 20. Payne JB, Reinhardt RA, Nummikoski PV, Patil KD. Longitudinal alveolar bone loss in postmenopausal osteoporotic/osteopenic women. *Osteoporos Int* 1999; 10 : 34-40.
 21. Richards AG. Measuring the radiopacity of the lip and mandible. *J Dent Res* 1953; 32 : 193-209.
 22. 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.
 23. 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.
 24. Parfitt AM, Mathews CH, Villanueva AR, Kleerekoper M, Frame B, Rao DS. Relationships between surface, volume, and thickness of iliac trabecular bone in aging and in osteoporosis. Implications for the microanatomic and cellular mechanisms of bone loss. *J Clin Invest* 1983; 72 : 1396-409.
 25. Kleerekoper M, Villanueva AR, Stanciu J, Rao DS, Parfitt AM. The role of three-dimensional trabecular microstructure in the pathogenesis of vertebral compression fractures. *Calcif Tissue Int* 1985; 37 : 594-7.
 26. Chappard D, Legrand E, Pascaretti C, Basle MF, Audran M. Comparison of eight histomorphometric methods for measuring trabecular bone architecture by image analysis on histological sections. *Microsc Res Tech* 1999; 45 : 303-12.
 27. Shrout MK, Hildebolt CF, Potter BJ, Brunson TK, Pilgram TK, Dotson M, et al. Comparison of morphological measurements extracted from digitized dental radiographs with lumbar and femoral bone mineral density measurements in postmenopausal women. *J Periodontol* 2000; 71 : 335-40.
 28. Kashima I. Computed radiography with photostimulable phosphor in oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 80 : 577-98.
 29. Cummings SR, Kelsey JL, Nevitt MC, O'Dowd KJ. Epidemiology of osteoporosis and osteoporotic fractures. *Epidemiol Rev* 1985; 7 : 178-208.
 30. Hildebolt CF. Osteoporosis and oral bone loss. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 3-15.
 31. Burger H, van Daele PL, Algra D, van den Ouweland FA, Grobbee DE, Hofman A, et al. The association between age and bone mineral density in men and women aged 55 years and over: the Rotterdam Study. *Bone Miner* 1994; 25 : 1-13.
 32. Griffiths GS, Bragger U, Fourmoussis I, Sterne JA. Use of an internal standard in subtraction radiography to assess initial periodontal bone changes. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25 : 76-81.
 33. Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H, Sasaki T. Quantitative subtraction with direct digital dental radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 286-94.
 34. Newitt DC, Majumdar S, van Rietbergen B, von Ingersleben G, Harris ST, Genant HK, et al. In vivo assessment of architecture and micro-finite element analysis derived indices of mechanical properties of trabecular bone in the radius. *Osteoporos Int* 2002; 13 : 6-17.
 35. 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.
 36. Gowin W, Saporin PI, Kurths J, Felsenberg D. Measures of complexity for cancellous bone. *Technol Health Care* 1998; 6 : 373-90.
 37. Shrout MK, Farley BA, Patt SM, Potter BJ, Hildebolt CF, Pilgram TK, et al. The effect of region of interest variations on morphologic operations data and gray-level values extracted from digitized dental radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999; 88 : 636-9.
 38. Southard KA, Southard TE. Comparison of digitized radiographic alveolar features between 20- and 70-year-old women. A preliminary study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992; 74 : 111-7.