

# 디지털 영상 시스템을 이용한 알루미늄 당량화상에 의한 골량 측정에 관한 연구

조선대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실

김진수 · 최의환 · 김재덕

## 목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도

## I. 서 론

디지털 공제 방사선 촬영술(digital subtraction radiography)이나 컴퓨터 보조의 밀도계측 분석(computer-assisted densitometric analysis)은 방사선사진상에서 미세한 변화를 감지하는데 유용한 술식이다. 이 방법은 주기적으로 촬영된 방사선사진을 판독함으로써 실험 및 임상적으로 치주 치료의 효과를 결정하는 치조정 골 평가 및 근관치료 후의 골 치유 과정을 평가하는데 적용되고 있지만, 단지 정성적 평가(qualitative assessment)만을 제공하고, 적어도 일년의 관찰 기간이 필요하며 초기단계에서 골 회복을 감지할 수 없고 골 회복 정도의 정량적 평는 불가능하였다<sup>1)</sup>.

예전에 몇몇 연구자들이 치근단 병소에서 방

사선학적 골 소실 및 골 회복을 정량적으로 분석하기 위해 미량밀도측정기(microdensitometer)를 이용하였는데, 이 방법은 작은 부위에 한정되어 행해져 왔으나, 큰 부위나 방사선사진 전체에 적용하는 경우에는 필름의 스캔에 시간이 걸리고 복잡한 컴퓨터 기술이 필요하여 실제 사용할 때에는 여러 문제가 있었다. 또한, 일차원이나 이차원적인 미량밀도측정기의 불만족스런 판독으로 정량적 분석의 감도(sensitivity)는 낮은 경향이 있다고 하였다<sup>2)</sup>. 한편, 광밀도측정기(Photodensitometry)는 골의 광자 흡수의 지침으로써 표준 방사선사진상에서 필름의 하얀 정도를 측정하여 골 무기질 량을 간접적으로 평가하지만, 방사선 촬영술 및 필름 현상의 방법과 같은 기술적인 문제들로 인해 사용하는데 한계가 있다고 하였다<sup>3)</sup>.

최근에 정량적인 컴퓨터 단층촬영(Quantitative computed tomography, QCT)이나 이중에너지 x-선 흡수계(Dual energy x-ray absorptiometry, DEXA) 등을 비롯한 새로운 기술을 이용하여 골량 또는 골의 무기질 성분을 정량적으로 평가할 수 있게 되어 신생골 이영양증, 골다공증 등의 골대사성 질환의 진단에 이용되고 있다<sup>1,2,4,5)</sup>. 악안면 영역에 있어서도 악골의 연령 증가에 따른, 또는 병적인 골 변화를 정량적으로 평가하였다는 보고<sup>4)</sup>가 있었으나, 이러한 방법들은 특수한 설비가 필요하고, 또한 악골의 형태

때문에 측정 장치의 적용이 곤란한 경우가 있었다. 또한  $^{125}\text{I}$ -흡수계(absorptiometry)를 이용한 골량 측정방법이 있는데, 이 방법은 5% 미만의 골 변화를 감지할 수 있으며 환자의 노출 선량을 감소시킬 수 있으나, 삼차원적 구조를 이차원적으로 보여주며, 구강내 적용을 위해서 특별한 장치가 필요한 단점이 있다<sup>4,6,7</sup>. 따라서 구강악안면 영역에서 골 변화의 정량적 평가를 위해서는 보다 일반적이고 간편한 방법이 필요하다고 여겨지는 바, 치과임상에서 사용되고 있는 일반 방사선사진을 디지털화한 영상으로부터 악골의 변화를 정량적으로 측정하는 방법이 필요하다고 사료되었다.

본 연구에서는 치과용 방사선사진을 디지털화한 영상으로부터 계조도와 알루미늄 두께를 이용하여 알루미늄 당량치를 구한 후 알루미늄 당량치에 의한 알루미늄 질량 추정의 정확도를 검증하였다. 그리고, 수산화인회석의 알루미늄 당량치와 수산화인회석의 변환식을 통해 건조 하악골의 질량을 추정하여 건조 하악골의 실제 질량과 비교 평가하므로써 디지털 영상시스템을 이용한 골의 정량적인 평가에 대한 방법과 그 임상적 타당성에 대해 연구하고자 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### A. 연구 재료

#### 1. 방사선사진 촬영 및 현상

알루미늄 블록과 수산화인회석 블록(Interpore 200<sup>®</sup>, 직경 425-600 $\mu\text{m}$ ), 그리고 인체 건조 하악골편의 방사선사진을 촬영하기 위해 Heliodent MD 구내 방사선 촬영기(Siemens Co., Germany)를 이용하였다. 감광도 E군의 Ectaspeed plus 구내 치근단 필름(Eastman Kodak Co., USA)을 일정한 거리 및 각도를 유지하도록 XCP 장치(Rinn Co., USA)에 고정하여 관전압 60kVp, 관전류 10mA, 노출시간 0.10초의 조건으로 촬영하였다(Fig. 1). 촬영된 방사선 필름은 Perimat 자동현상기(Dürr-dental Co., Germany)를 이용하여 현상하였다.

### 2. 디지털 영상 시스템

영상 처리는 파워 매킨토시 7200/120 컴퓨터(Apple computer Inc., USA)와 15인치 고해상도 컬러 모니터(Apple computer Inc., USA)를 이용하였다(Fig. 2). 촬영된 방사선사진의 입력을 위해 최대 2400 DPI를 지원하는 Transparency unit를 장착한 Epson GT-9000 스캐너(Seiko Epson Co., JAPAN)와 Epson Scan! II 프로그램(Seiko Epson Co., JAPAN)을 이용하여 촬영된 방사선사진을 256 계조도를 갖는 영상으로 디지털화하였으며, 실험을 위한 영상의 조작은 NIH image(ver. ppc1.56, National Institutes of Health, USA) 프로그램을 이용하였다.

### B. 연구 방법

#### 1. 알루미늄 당량치를 이용한 알루미늄 질량의 추정

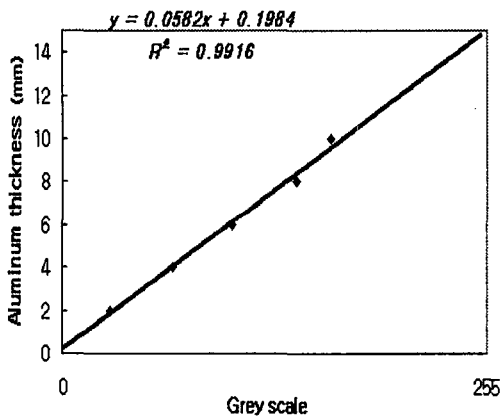
2, 4, 6, 8, 10mm 두께를 갖는 알루미늄 블록을 촬영한 방사선사진을 스캐너로 입력하였고 Epson Scan! II 프로그램을 이용하여 치근단 필름의 크기에 맞는 591 $\times$ 447 픽셀과 256 계조도의 디지털 영상을 제작하였다(Fig. 3). 이 영상의 분석을 위해 NIH image 프로그램에서 공제 영상을 얻으면서 구조적인 잡음(structural noise, background noise)을 제거하기 위해 디지털화한 영상에서 평균 배경 계조도인 25 계조도를 공제하였다. SAS 프로그램(SAS Institute Inc., Cary, NC 27512-8000 USA)을 이용하여 알루미늄 면상에서의 계조도와 알루미늄 두께간의 상관관계를 구한 후, 이 식을 적용한 알루미늄 당량화상을 제작하여 각각의 알루미늄 당량치를 구해서 비중(0.27mg/mm)을 곱하여 추정 질량을 구하였다. 또한 알루미늄 블록의 질량은 전자 저울(Model 100A, Denver Instrument Co., USA)을 이용하여 5회 측정된 평균치를 구하여 추정 질량과 비교하였다.

#### 2. 수산화인회석의 알루미늄 당량치와 수산화인회석과의 관계

골의 실제 성분으로 여겨지는 수산화인회석을

**Table 22.** Comparison of aluminum mass with converted mass from aluminum- equivalent images

Aluminum thickness(mm)	Al.-Eq. (mmAl)	Converted mass(mg)	True mass(mg)
2	1.70±0.05	20.15±0.36	23.40±0.04
4	3.76±0.07	46.91±0.73	48.71±0.08
6	5.56±0.13	75.61±1.62	76.11±0.04
8	7.57±0.18	97.47±1.93	97.84±0.01
10	8.63±0.22	126.87±2.79	134.63±0.03



**Fig. 6.** Regression equation of aluminum thickness and grey scale.

이용하여 골의 질량을 추정하기 위해 수산화인회석의 알루미늄 당량화상으로부터 당량치를 구한 후 그 값을 이용하였다. 질량(12.37, 21.52, 30.44, 45.65mg)을 알고 있는 수산화인회석을 넣은 레진 블록을 제작하여 알루미늄 블록과 함께 방사선사진을 촬영한 후 디지털화하였다. 그리고, 알루미늄 당량화상을 제작하여(Fig. 4) 수산화인회석을 넣은 4개 블록에 대한 각각의 알루미늄 당량치를 구한 후, 수산화인회석의 알루미늄 당량치와 알루미늄 비중을 곱한 값과 수산화인회석의 질량을 면적으로 나누어 단위(mg/mm<sup>2</sup>)를 같게 하여 두 값사이의 변환 곡선을 작성하였다.

또한 수산화인회석 블록의 알루미늄 당량치는 레진을 포함한 값으로 레진을 연조직 상당의 방사선감약체로 생각하여 이 변환 곡선을 연조직을 고려한 변환 곡선으로 하였다.

### 3. 알루미늄 당량화상을 이용한 건조 하악골의 비교 평가

건조 하악골의 치아를 포함하지 않은 소구치와 대구치 상당부를 협설방향으로 길이 10mm가 되게 절단하여 교합측, 중간부, 그리고 하연부 세 개의 골편을 만든 후 협설과 근원심의 각 방향에서 촬영한 방사선사진 각각을 디지털화하였다. 각각의 화상에 대해 앞의 실험에서 얻은 회귀식을 적용하여 당량화상(Fig. 5. A, B)을 만들어 알루미늄 블록의 경우와 같은 방법으로 알루미늄 당량화상에서의 면적에서 질량을 구했다. 또한 골편의 실제 질량을 측정하여 골량으로서 비교하였는데, 각각 저울을 이용하여 5회 측정하여 각각의 평균값을 구한 후 추정 질량과 비교 평가하였다.

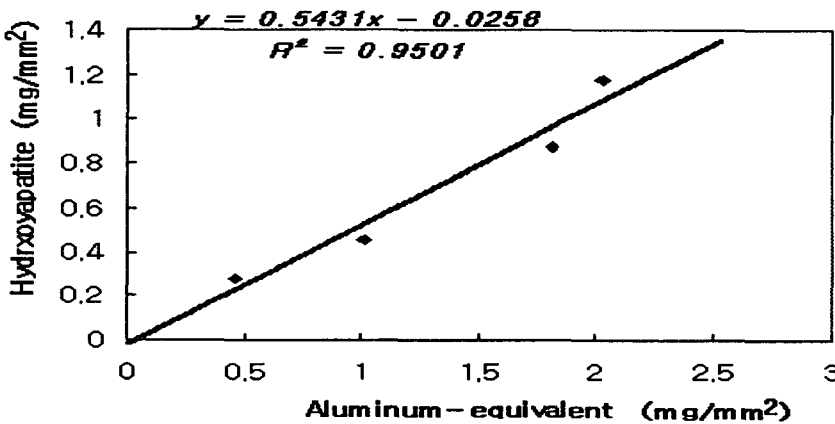
## III. 연구 성적

### 1. 알루미늄 당량치를 이용한 알루미늄 질량의 추정

실측된 알루미늄 블록의 평균 질량은 23.40, 48.71, 76.10, 97.84, 134.62mg이었다. 알루미늄 당량화상을 얻기 위한 알루미늄 두께와 제조도사

**Table 2.** Comparison of bone mass with converted mass(hydroxyapatite) from aluminum-equivalent

Bone segment	Converted mass from Al.-Eq.		Bone mass(mg)
	Bucco-lingually	Mesio-distally	
1 (Occlusal segment)	99.2922	98.5320	90.1400
2 (Middle segment)	89.2446	90.0136	92.2367
3 (Inferior segment)	114.6100	110.4656	113.8133



**Fig 7.** Regression equation of aluminum- equivalent and hydroxyapatite

이에서 직선 관계( $y=0.20+0.06x$ ,  $r^2=0.99$ )를 보였으며(Fig. 6), 이 관계식으로부터 얻어진 알루미늄 당량치(mmAl)는 Table 1과 같고, 알루미늄 당량화상에서 얻어진 추정 질량은 실제치보다 약간 낮은 값을 보였으나, 통계학적으로 유의한 차이는 없었다( $P<0.05$ , Table 1).

## 2. 수산화인회석의 알루미늄 당량치와 수산화인회석과의 관계

수산화인회석의 알루미늄 당량치와 알루미늄 비중을 곱한 값과 수산화인회석 블록에서 질량을 당량화상의 면적으로 나눈 값사이의 회귀 분석과, 양자의 사이에는 직선 관계( $y=-0.03 + 0.54x$ )가 보여졌고, 높은 상관관계( $r^2=0.95$ )를 보였다( $P<0.05$ , Fig. 7).

## 3. 알루미늄 당량화상을 이용한 건조 하악골의 비교 평가

세 개의 건조 하악골 편에서 협설이나 근원심의 촬영 방향에 의한 변환 값은 교합부와 중간부에서는 거의 일치하였으나, 하연부에서는 약간의 차이를 보였다(Table 2). 또한 실측치와 비교하였을때, 중간부와 하연부에서는 거의 유사한 값을 보였고 교

합측에서는 약간 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의한 차이는 없었다( $P<0.05$ , Table 2).

## IV. 총괄 및 고안

디지털 공제 방사선술은 연속적으로 촬영된 방사선사진들에서 동일한 영상 소견의 공제에 의해 구조적 잡음을 감소시키는 영상처리 방법으로 미세한 골 변화의 평가에 유용한 진단학적 도구이며<sup>8,9,10,11,12,13,14,15,16,17</sup>, 또한 표준화된 방사선사진으로부터 추가적인 진단 정보를 얻는데 객관적이고 비파괴적인 방법을 제공한다<sup>8,10</sup>. 1983년 Gröndahl 등<sup>12</sup>이 치과 방사선사진을 이용하여 디지털 공제술을 시행한 술식을 보고한 이래, 미세한 골 변화를 보이는 치주 및 골 질환<sup>8,12,18,19,20,21,22</sup>, 치아우식증<sup>23</sup>, 임플란트<sup>24</sup>, 악관절

의 골 변화 및 위치 변화<sup>5)</sup> 등의 진단과 골의 정량적 분석<sup>1,6,17,25,26,27,28)</sup>에의 이용 등에 대한 많은 연구들이 있어왔으며, 정성 및 정량적으로 골 변화의 감지에 가치가 있다고 보고되었다<sup>10,18,20,25,27,28,29,30,31,32)</sup>.

디지털 영상술에서의 첫 단계는 방사선사진을 컴퓨터상에 저장할 수 있도록 변환시키는 것으로, CCD 카메라나 스캐너를 이용하여 기존의 방사선사진을 디지털화하는 방법과 intraoral direct imaging device를 사용하는 방법<sup>16)</sup>이 있는데, 밀도계측기를 사용하여 방사선사진을 디지털 포맷으로 변환시키는 방법<sup>21)</sup>도 있다. 방사선사진의 입력 장치로는 주로 CCD 카메라가 이용되었는데, Hildebolt 등<sup>29)</sup>은 치과 방사선사진의 정량 분석에서 슬라이드 스캐너를 이용한 시스템이 비디오 카메라를 이용하는 것보다 우수하다고 보고하였다. 그러나, 스캐너를 이용하는 시스템은 방사선필름 흑화도를 기록하는데 기하학적 변형이 많고, 고해상도의 영상을 얻으려 하는 경우에는 디지털 영상의 용량이 커져 영상의 저장이나 처리에 어려움이 있었다고 하였다<sup>13)</sup>. 대부분의 디지털 영상시스템에서 IBM 호환기종이 이용되었으나<sup>11,14,23,26)</sup>, 몇몇 연구자들은<sup>25,29,33)</sup> 매킨토시 컴퓨터를 이용하였다. 또한, 매킨토시 컴퓨터에서 이용되는 영상 처리 프로그램들인 NIH image, Enhance, IP Lab and DIP Station 등을 치과 방사선사진의 디지털 분석에 적용한 결과 전반적으로 NIH image가 가장 적합한 것으로 판정되었는데, 이들 프로그램들은 치과 영상의 제조도와 공간적인 자료들의 조작 및 정량적인 분석이 가능하고 주관적인 질(quality)을 개선시킬 수 있다고 하였다<sup>33)</sup>. 본 연구에서는 Epson Scan! II 프로그램을 사용하여 Epson GT 9000 스캐너로 방사선사진을 입력하였고, 디지털 영상 처리를 위한 시스템은 매킨토시 컴퓨터를, 프로그램은 NIH image를 이용하였다.

디지털 방사선술은 최근에 개발된 비디오 및 컴퓨터 기술과의 결합으로 크게 발전되었는데<sup>8,11,12,19,22,34)</sup>, 디지털 공제영상에서 병소의 제조도와 알루미늄의 제조도를 비교하여 골 병소의 부피를 결정하려는 많은 연구들이 행하여졌으며

<sup>6,18,20,25,27,29,32)</sup>, 골 조직의 변화를 알루미늄 당량 두께로 정량화하는 방법들이 보고되었다<sup>4,28,30,31,32)</sup>. 이는 골과 알루미늄의 동일 양은 원자 번호가 매우 유사하므로 거의 같은 정도로 방사선을 감쇄시킨다는 사실에 기초하고 개발되었다. 픽셀치는 알루미늄의 값을 갖는 변환 곡선을 통하여 알루미늄 당량치로 변환시켰고, 영상처리 프로그램에 의해 알루미늄 당량화상으로써 표시하였다<sup>4,7)</sup>. 이러한 알루미늄 당량치는 방사선관구로부터 필름에 도달하기까지의 전 경로의 방사선 감약분을 알루미늄의 두께로 환산한 것으로, 중요한 것은 얻어진 값이 면밀도의 차원을 갖는 알루미늄 두께에 해당하는 값이라는 것이다. 여기서 관심 영역을 설정하여 면적분을 행하면 피사체가 알루미늄인 경우의 환산 체적이 되고, 여기에 알루미늄의 밀도를 곱하면 관심 영역의 당량치가 알루미늄 질량으로 환산된 값이 얻어지게 된다. 즉, 이것은 골 부피를 알루미늄 당량 부피로 표현할 수 있다는 것을 의미한다<sup>4,7,28,31)</sup>. 또한 Sun 등<sup>30)</sup>의 연구에서는 이러한 당량치를 수산화인회석 당량치로 변환하여 골 변화를 감지할 수 있다고 하였으며, 또 다른 연구<sup>4)</sup>에서는 탄산칼슘을 이용하여 골 변화의 정량 분석을 시행하였다. 본 연구에서는 알루미늄 당량화상을 이용하여 알루미늄 블록인 경우, 수산화인회석인 경우, 그리고 건조 하악골의 경우에 대하여 당량화상에서의 질량 추정 방법에 대한 방법과 그 방법의 정확도를 연구하였다. 먼저 알루미늄의 두께를 이용한 골 변화의 정량적 평가를 위한 알루미늄 당량화상을 제작하기 위해, 먼저 알루미늄 두께와 디지털 영상의 제조도사이의 관계를 구하였는데, 직선 관계와 높은 상관관계( $r^2=0.99$ )를 보였다. 또한 관계식을 이용하여 얻어진 알루미늄 당량화상에서 알루미늄 당량치를 구한후 알루미늄 질량을 추정된 결과 실제치보다 약간 낮은 값을 보였으나, 유의한 차이는 없었다( $P<0.05$ , Table 1). 이러한 결과는 알루미늄 두께와 디지털 영상의 제조도간에 높은 상관 관계가 있었다는 보고들<sup>4,25,27)</sup>과 일치하였으며, 추정 질량을 구한 다른 연구<sup>4)</sup>에서 추정 질량과 실측 질량의 값이 거의 유사한 결과에 비해 낮은 값을 보였는

데, 이러한 이유는 알루미늄 망을 겹쳐 이용한 것과 블록을 이용한 것의 차이때문이라 사료되었다.

또한, 알루미늄 당량화상에서 인체 골의 주성분으로 여겨지는 수산화인회석의 알루미늄 당량치를 구하여 수산화인회석의 알루미늄 당량치와 수산화인회석의 양과의 관계식을 통해 건조 하악골의 질량을 추정, 비교하고자 하였다. 수산화인회석의 알루미늄 당량치에서 알루미늄 비중을 곱한 값과 수산화인회석 블록에서 질량을 당량화상의 면적으로 나눈 값사이의 회귀 분석결과, 양자의 사이에는 직선 관계와 높은 상관 관계를 보였다( $P < 0.05$ , Fig. 7). 이러한 결과는 탄산칼슘을 이용한 연구 결과<sup>4)</sup>의 상관관계( $r^2 = 0.98$ )보다는 낮은 값을 보였으며, 이러한 차이를 보이는 것은 실험 재료의 특성 차이라고 사료되었다. 세 개의 건조 하악골편의 촬영 방향에 따른 질량 추정에 대한 결과에서 협설이나 근원심의 촬영 방향에 따른 차이는 적었는데, 하연부에서 약간의 차이를 보인 것은 피질골에서 x-선의 감쇄 정도가 촬영 방향에 따라 차이를 보였기 때문으로 생각되었다. 또한, 실측치와 비교하여 중간부와 하연부에서는 거의 유사한 값을 보였고 교합측에서는 약간 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다( $P < 0.05$ , Table 2). 이러한 결과는 추정치에서 10% 정도 낮게 나타났다는 보고<sup>4)</sup>와는 다른 결과를 보였는데, 피질골의 포함 정도에 따라 약간의 오차가 발생한다고 생각되었으며, 또한 기준으로 한 수산화인회석과 레진 복합체와 실제의 골속의 수산화인회석과 타성분과의 복합체가 서로 차이가 있기 때문이라고 사료되었다. 하지만, 악골의 정량 분석이 관심 영역의 총질량이라고 하는 양상에서 구내방사선사진으로부터 추정하는 일이 가능하다는 것이 입증되었고, 또한 추정 질량이 실측 질량과 상당히 근사한 값이 얻어진 것은 구내촬영법에 의한 X선 스펙트럼조건하에서 알루미늄, 수산화인회석, 악골의 방사선 감약이 아주 유사한 양태로 이루어졌기 때문으로, 참조체로써 알루미늄을 이용하는 것은 타당성이 있다고 사료되었다. 이상의 연구 결과들을 미루어 볼 때, 디지털 영

상시스템에 의한 골 변화의 정량적 평가는 골 변화 평가에 대한 기준으로써 사용이 가능하고, 이를 임상에 직접 이용함으로써 제조도 측정을 이용하는 데 불편이 없고 미세한 골 변화량의 평가가 용이하여 그 임상적 의의는 클 것으로 사료된다. 그러나, 중간 매개체로 이용되는 탄산칼슘이나 수산화인회석 등의 당량치로의 변환없이 이용될 때, 보다 임상적으로 쉽게 응용할 수 있을 것이며, 이러한 알루미늄 당량치를 이용한 골량의 평가는 이미 보고되어 있는 다른 측정법들과 비교하는 연구가 뒤따라야 할 필요가 있다고 사료된다.

## V. 결 론

파워 매킨토시 7200/120과 15인치 컬러 모니터, 그리고 GT-9000 스캐너로 구성된 디지털 영상시스템을 이용하여 정량적인 골량의 평가에 대한 방법에 대해 연구하였다. 먼저 알루미늄 두께와 디지털 영상에서의 제조도사이의 상관관계를 얻어 알루미늄 당량화상을 제작한후 알루미늄 당량치로부터 알루미늄 질량을 추정하는 정확도를 검증하였고, 수산화인회석의 알루미늄 당량치로부터 건조 하악골의 골량으로 변환하는 골량 추정의 정확도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 알루미늄 두께와 알루미늄 화상의 제조도는 직선 관계를 보였으며( $y = 0.20 + 0.06x$ ,  $r^2 = 0.99$ ), 알루미늄 당량화상으로부터 얻어진 추정질량은 실제치보다 약간 낮은 값을 보였다( $P < 0.05$ ).
2. 알루미늄 당량치로부터 수산화인회석으로의 변환은 직선관계를 보였다( $y = -0.03 + 0.54x$ ,  $r^2 = 0.95$ ).
3. 세 개의 건조 하악골편의 알루미늄 당량화상으로부터의 추정 질량은 실측치와 비교하여 중간부와 하연부에서는 거의 유사한 값을 보였고 교합측에서는 약간 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의한 차이는 없었다( $P < 0.05$ ). 또한 촬영 방향에 따른 차이는 거의 없었다.

## REFERENCES

1. Taguchi, A., Tanimoto, K., Ogawa, M., Sunayashiki, T. and Wada, T.: Effect of size of region of interest on precision of bone mineral measurements of the mandible by quantitative computed tomography. *Dentomaxillofac. Radiol.* 20,25~29, 1991.
2. Andresen, J. and Nielsen, H.E.: Assessment of bone mineral content and bone mass by non-invasive radiologic methods. *Acta Radiologica.* 27(6),609~617, 1986.
3. Kimmel, P.L.: Radiologic methods to evaluate bone mineral content. *Ann. Intern. Med.* 100,908~911, 1984.
4. 野井倉武憲・森田康彦・岩下洋一朗: アルニウム当量画像に関する骨塩量の測定による相違. 齒放. 34,171~177, 1994.
5. Ludlow, J.B., Soltmann, R., Tyndall, D. and Grady, J.J.: Accuracy of quantification of mandibular condyle displacement in digitally subtracted linear tomograms. *Dentomaxillofac. Radiol.* 21,81~87, 1992.
6. Hausmann, E., Bale, W.F., Warren, S.L. and van Huysen, G.: Techniques for assessing alveolar bone mass changes in periodontal disease with emphasis on  $^{125}\text{I}$  absorptiometry. *J. of Clin. Periodontol.* 10,455~464, 1983.
7. Ortman, L.F., Dunford, R., McHenry, K. and Hausmann, E.: Subtraction radiography and computer assisted densitometric analyses of standardized radiographs, A comparison study with  $^{125}\text{I}$  absorptiometry. *J. Periodont. Res.* 20,644~651, 1985.
8. Brägger, U.: Digital imaging in periodontal radiography. A review. *J. Clin. Periodontol.* 15,551~557, 1988.
9. Brägger, D., Pasquali, L., Rylander, H., Carnes, D. and Kornman, K.S.: Computer assisted densitometric image analysis in periodontal radiography. A methodological study. *J. Clin. Periodontol.* 15,27~37, 1988.
10. Christagu, M., Wenzel, A., Hiller, K.-A. and Schmalz, G.: Quantitative digital subtraction radiography for assessment of bone density changes following periodontal guided tissue regeneration. *Dentomaxillofac. Radiol.* 25(1),25~33, 1996.
11. Fujita, M., Kodera, Y., Ogawa, M., Wada, T. and Doi, K.: Digital image processing of periapical radiographs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 65(4), 490~494, 1988.
12. Gröndahl, H.G., Gröndahl, K. and Webber, R.L.: A digital subtraction technique for dental radiography. *Oral Surg.* 55(1),96~102, 1983.
13. Ohki, M., Okano, T. and Yamada, N.: A contrast correction method for digital subtraction radiography. *J. Periodont. Res.* 23,277~280, 1988.
14. Reddy, M.S., Bruch, J.M., Jeffcoat, M.K. and Williams, R.C.: Contrast enhancement as an aid to interpretation in digital subtraction radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 71(6),763~769, 1991.
15. Reddy, M.S. and Jeffcoat, M.K.: Digital subtraction radiography. *Dental Clinics of North America.* 37(4), 553~565, 1993.
16. van der Stelt, P.F.: Computer-assisted interpretation in radiographic diagnosis. *Dental Clinics of North America.* 37(4),683~696, 1993.
17. Webber, R.L., Ruttimann, U.E. and Gröndahl, H.G.: X-ray image subtraction as a basis for assessment of periodontal changes. *J. Periodont. Res.* 17, 509~511, 1982.
18. 김형욱·정종평: 치주병소 골흡수 측정시 정량분석형 계수공제영상 방사선 측정법에 대한 실험적 연구. 대한치주과학회지. 20(2),278~285, 1990.
19. Gröndahl, K., Gröndahl, H.G. and Webber, R.L.: Influence of variations in projection geometry on the detectability of periodontal bone loss: A comparison between subtraction radiography and conventional radiographic technique. *J. Clin. Periodontol.* 11,411~420, 1984.
20. Janssen, P.T.M., van Palenstein Helderman, W.H. and van Aken J.: The detection of in vitro produced periodontal bone lesion by conventional radiography and photographic subtraction radiography using observers and quantitative digital subtraction radiography. *J. Clin. Periodontol.* 16,335~341, 1989.
21. Okano, T., Mera, T., Ohki, M., Ishikawa, I. and Yamada, N.: Digital subtraction of radiograph in evaluating alveolar bone changes after initial periodontal therapy. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 69(2),258~262, 1990.
22. Wenzel A., Warrer, K. and Karring, T.: Digital subtraction radiography in assessing bone changes in periodontal defects following guided tissue regeneration. *J. Clin. Periodontol.* 19,208~213, 1992.
23. Nummikoski, P.V., Martinez, T.S., Matteson, S.R., McDavid, W.D. and Dove, S.B.: Digital subtraction radiography in artificial recurrent caries detection.

- Dentomaxillofac. Radiol. 21,59~64, 1992.
24. Jeffcoat, M.K.: Digital radiology for implant treatment planning and evaluation. Dentomaxillofac. Radiol. 21,203~207, 1992.
  25. 조형희 · 김은경: 방사선사진용 디지털 영상시스템의 정량적 평가에 관한 실험적 연구. 대한구강악안면방사선학회지. 24(1),137~148, 1994.
  26. McHenry, K., Hausmann, E., Wikesjö, U., Dunford, R., Lyon-Bottenfield, E. and Christersson, L.: Methodological aspects and quantitative adjuncts to computerized subtraction radiography. J. Periodont. Res. 22,125~132, 1987.
  27. Ruttimann, U.E. and Webber, R.L.: Volumetry of localized bone lesions by subtraction radiography. J. Periodont. Res. 22,215~215, 1987
  28. Strid, K.-G. and Kälebo, P.: Bone mass determination from microradiographs by computer-assisted videodensitometry. I. Methodology. Acta Radiologica. 29,465~472, 1988.
  29. Hildebolt, C.F., Vanier, M.W., Pilgram, T.K. and Shrout, M.K.: Quantitative evaluation of digital dental radiograph imaging systems. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 70(5),661~668, 1990.
  30. Sun, H., Ohki, M. and Yamada, N.: Quantitative evaluation of bone repair of periapical lesions using digital subtraction radiography. Part 2: Clinical Application. Oral Radiol. 7(1),35~46, 1991.
  31. Vos, M.H., Janssen, P.T.M., van Aken, J. and Heethaar, R.M.: Quantitative measurement of periodontal bone changes by digital subtraction. J. of Periodont. Res. 21,583~591, 1986.
  32. Webber, R.L., Ruttimann, U.E. and Heaven, T.J.: Calibration errors in digital subtraction radiography. J. Periodont. Res. 25,268~275, 1990.
  33. Hildebolt, C.F., Vannier, M.W., Gravier, M.J., Shrout, M.K., Knapp, R.H., and Walkup, R.K.: Technical Report Digital dental image processing of alveolar bone: Macintosh II personal computer software. Dentomaxillofac. Radiol. 21,162~169, 1992.
  34. Ruttimann, U.E., Webber, R.L. and Schmidt, E.: A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. J. Periodont. Res. 21,486~495, 1986.
  35. van der Stelt, P.F., Van der Linden, L.W.J., Geraets, W.G.M. and Alons, C.L.: Digitized image processing and pattern recognition in dental radiographs with emphasis on the interdental bone. J. Clin. Periodontol. 12,815~821, 1985.



-ABSTRACT-

## A study on assessment of bone mass from aluminum-equivalent image by digital imaging system

Jin-Soo Kim, Jae-Duk Kim

*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Chosun University*

The purpose of this study was to evaluate the method for quantitative assessment of bone mass from aluminum-equivalent value of hydroxyapatite by using digital imaging system consisted of Power Macintosh 7200/120, 15-inch color monitor, and GT-9000 scanner with transparency unit.

After aluminum-equivalent image made from correlation between aluminum thickness and grey scale, the accuracy of conversion to mass from aluminum-equivalent value was evaluated. Measured bone mass was compared with converted bone mass from aluminum-equivalent value of hydroxyapatite block by correlation formula between aluminum-equivalent value of hydroxyapatite block and hydroxyapatite mass.

The results of this study were as follow;

1. Correlation between aluminum thickness and grey level for obtaining aluminum-equivalent image was high positively associated( $r^2=0.99$ ). Converted masses from aluminum-equivalent value were very similar to measured masses. There was, statistically, no significant difference( $P<0.05$ ) between them.
2. Correlation between hydroxyapatite aluminum-equivalent and hydroxyapatite mass was shown to linear relation ( $r^2=0.95$ ).
3. Converted masses from aluminum-equivalent value of 3 dry mandible segments were similar to measured masses. The difference between the exposure directions was not significantly different( $P<0.05$ ).

## 사진부도 설명

- Fig. 1.** Radiographic instruments with XCP holder.
- Fig. 2.** Digital imaging system.
- Fig. 3.** Radiograph of hydroxyapatite resin block with aluminum block.
- Fig. 4.** Aluminum-equivalent image of hydroxyapatite resin block.
- Fig. 5. A.** Aluminum-equivalent image of dry mandible segments (Buccolingually).
- Fig. 5. B.** Aluminum-equivalent image of dry mandible segments (Mesiodistally).

# 논문사진부도

