

골판톰을 이용한 골밀도측정 참조체의 결정

조선대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
김재덕

The determination of reference material for bone density by using bone phantom

Jae-Duk Kim

Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Chosun University

ABSTRACT

Purpose : To determine the proper reference stepwedge for digital Cu-Equivalent Image analyzing systems for measurement of bone density.

Materials and Methods : Radiograms of lumbar vertebrae phantom (1 g/cm²) with 3 test copper stepwedges of 0.03, 0.05 and, 0.1 mm thickness unit were taken and analyzed using NIH image software on a Macintosh personal computer. Measured densities of the lumbar areas in the Cu-Equivalent images made by utilizing 3 different copper stepwedges were compared with a known bone density.

Results : The values of r2 for all copper equivalent images were over 0.99. The mean Cu-Eq value of lumbar in copper equivalent image made by a 0.1 mm copper stepwedge was 0.22 ± 0.06 mm and converted to hydroxyapatite density of 1.03 g/cm². The stepwedges of 0.03 and 0.05 mm produced results having higher values than the actual known bone density. They did not show the blue and green color level that appeared in lumbar on color enhanced image.

Conclusion : A copper stepwedge of adequate thickness and range of steps which can express the range of density of bone being measured should be used. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2002; 32 : 135-9)

KEY WORDS : lumbar vertebrae; phantoms, imaging; image enhancement

서론

말단골이나 임의 척추골의 골밀도를 측정하기 위해 정량적 전산화단층촬영법 (Quantitative Computed Tomography: QCT)^{1,2}이 주로 사용되고 있으나 환자의 X-선 피폭량이 크며 고가의 장비가 필요하다. 완골, 척추 등의 골밀도 측정에 주로 사용되고 있는 이중에너지 X-선 흡수계 (Dual Energy X-ray Absorptiometry: DEXA)법³⁻⁵은 저에너지와 고에너지 두가지의 X-선을 발생시켜 골밀도를 측정하는 장치로 정밀성과 재현성이 우수하며 검사가 간편하여 그 임상적 유용성이 인정되고 있다. Horner⁶는 하악골의 골밀도가 골격 골다공증의 예측자로서 역할을 할 수 있는가를 밝히기 위해 하악골의 골밀도를 DEXA법으로 측정하여

척추골과 수완부골 등에서 DEXA법에 의해 측정된 골밀도와의 관계를 검토하여 하악골 골밀도는 인체 타 주요골격의 골밀도와 의미있는 관계를 보였다고 보고하였다. 그러나 악골에의 DEXA법 적용은 악골이 구조상 복잡한 형태를 갖고 다른 골부와 다양하게 중첩되어 있어 보편화되지 못하였다.

컴퓨터의 발전으로 디지털화상을 이용하여 악골의 골질을 정량적으로 평가하는 연구가 Ruttimann 등⁷에 의해 시도되었고 이어 골의 정량법이 계속 연구되어 왔다. 이들의 정량법은 피사체의 방사선촬영시 피질골,⁷ 석고,⁸ 알루미늄,⁹⁻¹⁵ 구리¹⁶⁻¹⁹ 등의 웨지를 참조체로 함께 부착하여 촬영한 다음 컴퓨터를 이용하여 피사체의 관심영역을 참조체와 등가의 두께로 표시하여 그 등가치로 골질을 평가하였다.

최근 박 등²⁰은 치과용 구내필름을 골조직의 정량평가에 이용하고자 참조체로 구리를 채택한 구리당량영상처리법을 구축하여 구내 치근단방사선사진 상에서 하악 소구치부 일정영역에 대해 골밀도를 구리당량치로 측정하고 이

*본 논문은 1999년도 조선대학교 교내학술연구비에 의해 연구된 논문임.
접수일 : 2002년 5월 10일 채택일 : 2002년 6월 4일
Correspondence to: Prof. Jae-Duk Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Chosun University, 421 Susuk-dong, Dong-gu, Kwangju, KOREA
Tel) 82-62-220-3885, Fax) 82-62-227-0270
E-mail) jldakim@mail.chosun.ac.kr

를 하이드록시아파타이트 판틈을 이용해 골밀도로 연산한 다음 DEXA법으로 수완골부에서 측정된 골밀도와의 상관관계를 구함으로써 디지털 영상시스템을 이용하여 구내치근단방사선사진상에서 하악골의 골밀도를 측정하는 것이 임상적으로 유용할 수 있음을 밝혔다. 이에 악골에서 골밀도를 측정할 수 있는 간편한 시스템을 개발하고자 치과계에서 구내방사선 디지털영상분석시스템을 이용한 연구가 계속되어오고 있다. 그러나 악골의 골밀도를 측정함에 있어 알미늄과 다양한 두께의 구리스텝웨지가 사용되고 있는 바 이들 중 보다 정밀도가 높은 참조체를 결정함으로써 디지털영상분석시스템의 효용성을 높힐 수 있다고 생각되어 본 연구에서는 정확한 골밀도가 결정되어 있는 골판틈을 이용하여 수중의 참조체를 이용한 골밀도를 측정하여 비교함으로써 보다 정밀도가 높은 참조체를 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

표준 촬영물체는 인체의 연조직의 밀도에 해당되는 수지에 포매되어있는 평균 골밀도 1.000 g/cm²인 요추 골판틈을 이용하였다.

실험대상 참조체로서는 두께 0.2 mm, 1 mm 단위의 알루미늄스텝웨지 2개와 두께 각각 0.03, 0.05, 0.1 mm 단위의 구리스텝웨지 3개를 제작하여 총 5개의 참조체를 사용하였으나 예비실험 결과 알루미늄스텝웨지는 사용상의 불편으로 배제되어 3개의 구리 스텝웨지를 실험대상으로 하였다.

구리당량치와 하이드록시아파타이트밀도간의 관계식을 얻기 위하여 동일 면적을 갖고 높이가 다른 원통형의 하이드록시아파타이트 7단계의 판틈(0.0485 g에서 0.1591 g)을 제작하여 동일 촬영조건에서 구리스텝웨지와 함께 방

사선사진 촬영에 사용하였다.

2. 연구방법

1) 방사선촬영 및 디지털영상화

방사선촬영은 먼저 구외촬영기를 이용하여 66.5 KVp 300 mA 노출시간 0.16초의 조건으로 요추 골판틈을 촬영하되 촬영조건을 동일하게 하고 현상을 동일한 조건으로 하기 위하여 한장의 방사선필름에 5개의 참조체를 함께 위치시키고 10회 촬영하였다.

한편 하이드록시아파타이트 판틈과 구리스텝웨지를 한장의 구내 방사선사진필름에 놓고 65 KVp 7 mA 0.02초의 조건으로 촬영하였다.

촬영된 방사선사진들은 최대 2400 DPI를 지원하는 Transparency unit를 장착한 Epson GT-9000 스캐너 (Seiko Epson Co., JAPAN)와 Epson Scan! II (Seiko Epson Co., JAPAN) 소프트웨어를 이용하여 컴퓨터에 입력되어 256 계조도를 갖는 영상으로 디지털화하였다. 방사선사진영상들의 분석처리는 파워 매킨토시 7200/120 컴퓨터 (Apple computer Inc., U.S.A.)에서 영상분석 소프트웨어인 NIH image (ver. pp1.62, National Institutes of Health, USA)를 이용하였다.

2) 분석

디지털영상분석시스템을 이용하여 각 참조체를 기준으로 구리당량영상을 제작하고 각 당량영상에서 요추 골판틈의 골밀도를 당량치로 측정하여 그 평균당량치를 구한 다음 하이드록시아파타이트 판틈과 구리스텝웨지가 함께 촬영된 방사선사진을 디지털화하여 얻은 구리당량치와 하이드록시아파타이트 밀도간의 관계식으로부터 골밀도를 환산하였다. 이렇게 얻어진 값과 실제 알고있는 요추의 골밀도와 비교하였다.

예비실험결과 각 구리스텝웨지에 의해 측정된 골밀도가 차이를 나타내어 그 이유를 평가하기 위해 사용된 요추

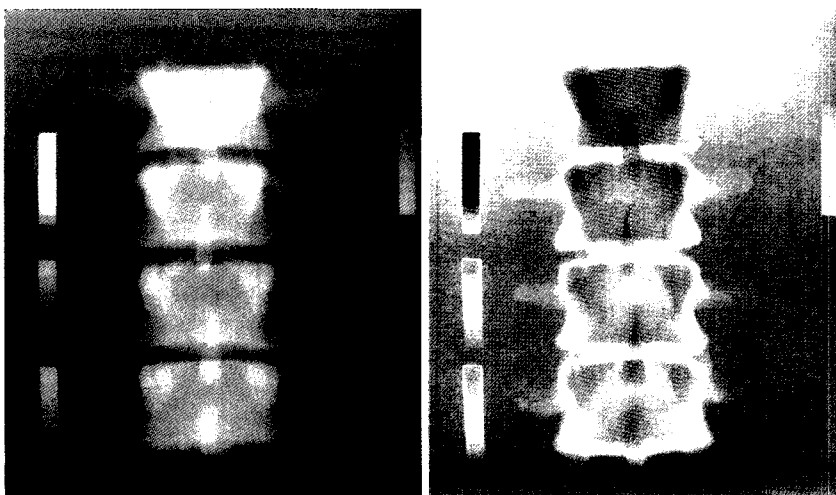


Fig. 1. X-ray image (Lt.) and color enhanced image (Rt.) of lumbar and Cu step wedges are shown.

골판툼과 구리스텝웨지의 방사선사진상을 색상강화(Fig. 1)하여 방사선사진상 밀도 분포를 비교하였다.

결 과

본 실험에서 구리당량치와 하이드록시아파타이트 밀도 간의 관계식은 방사선사진상에서 판독이 유효하였던 6단계에 대하여 하이드록시아파타이트 밀도(Yg/cm²)와 구리당량치(X mm)간에 Y=6.47X-0.39의 직선회귀식이 얻어졌다. 이 직선식은 높은 상관관계(r²=0.9967)를 보였다.

동일하게 노출 현상 그리고 디지털화된 요추 골판툼의 구외필름영상으로부터 세가지 구리스텝웨지에 의한 구리당량영상제작시 제조도와 구리당량치간의 관계식의 결정계수는 모두 0.99 이상이었다.

각 구리 스텝웨지에 의해 제작된 구리당량영상에서 측정된 구리당량치와 추정된 하이드록시아파타이트 밀도는 Table 1에서 보는 바와 같다. 0.1 mm 구리스텝웨지에 의한 요추 전체의 구리당량치는 평균 0.22±0.06 mm이었고 환산식에 의한 추정 하이드록시아파타이트 밀도는 1.03 g/cm²로서 실제 밀도와 가장 유사하였다. 0.03 mm 및 0.05 mm 구리 스텝웨지에 의해서는 각각 1.62 g/cm², 2.52 g/cm²의 하이드록시아파타이트 밀도가 얻어져 실제 밀도와 차이를 나타내었다.

Table 1. Measured Cu-Equivalent value and estimated HA density of lumbar in extraoral film images by 3 Cu step wedge

	(mmCu)		
Cu step wedge	0.03 mm	0.05 mm	0.1 mm
determination coefficient (r ²)	0.9990	0.9977	0.9993
lumbar 1	0.37±0.11	0.48±0.09	0.28±0.07
lumbar 2	0.31±0.08	0.46±0.08	0.23±0.06
lumbar 3	0.28±0.05	0.43±0.07	0.20±0.05
lumbar 4	0.28±0.05	0.43±0.07	0.18±0.05
average	0.31±0.07	0.45±0.08	0.22±0.06
estimated density (g/cm ²)	1.62	2.52	1.03

구리스텝웨지의 두께분포와 요추의 골밀도 분포

Fig. 1에서 보는 바와 같이 일반 방사선사진영상과는 달리 색상강화상에서 다양한 요추의 골밀도 분포와 구리스텝웨지의 각 스텝의 밀도차를 다양한 색으로 보여주고 있다.

그림 좌측에서 제일 위에 있는 0.1 mm 구리 스텝웨지는 요추 중 골밀도가 높은 부위를 나타내는 파란색을 포함하고 있으며 그 보다 낮은 골밀도를 나타내는 녹색, 연두색, 노란색 그리고 주황색을 차례로 모두 포함하고 있다.

그림 좌측의 아래에 있는 0.03 mm 및 0.05 mm 구리 스텝웨지는 요추에서 보이는 파란색과 녹색 골밀도 부위를 포함하지 않고 있다.

고 찰

치과용 구내방사선필름을 골조직의 정량평가에 이용하고자 참조체로 알루미늄⁹⁻¹⁵을 이용한 연구가 있었으나 구강내 적용이 어려웠다. 따라서 구리를 채택한 구리당량영상 처리법이 구축되어 구내 치근단방사선사진상에서 하악골의 골밀도를 측정하는 것이 임상적으로 유용할 수 있음²⁰이 밝혀졌다.

그러나 岩下 등¹⁰의 알루미늄 스텝웨지를 이용한 실험에서 알루미늄 두께가 두꺼워질수록 표준편차가 커지는 경향을 보였고 변동계수가 2 mm 두께에서만 높았으며 나머지 층에서는 거의 일정하여 평균 5.8%를 나타내었다고 보고되어 참조체의 두께가 측정치에 영향을 줄 수 있음이 시사되었다. 한편 구리당량영상작성을 위한 변환식에서도 그 결정계수가 높은 경우는 측정된 두께가 실제두께와 거의 일치하였으나 결정계수가 낮은 경우 실제 두께와 측정된 두께는 변동계수가 낮음에도 차이를 나타내어 변동계수보다는 결정계수 의존적임을 나타내었다는 보고²¹도 있어 참조체의 두께는 측정치에 영향을 줄 수 있다고 생각되었다. 실제 악골의 골밀도를 측정함에 있어 다양한 두께의 구리스텝웨지가 사용되고 있는 바, 골밀도가 결정되어 있는 골판툼을 이용하여 다양한 두께의 구리 참조체의 정밀도를 검증할 필요가 있다고 생각되었다. 이에 본 실험에서는 1.000 g/cm²의 요추 골판툼을 이용하여 0.03 mm, 0.05 mm, 0.1 mm 단위의 구리스텝웨지를 평가하였다. 동일한 노출 및 현상 및 디지털화된 요추 골판툼의 구외필름영상으로부터 세가지 구리스텝웨지에 의한 구리당량영상제작시 제조도와 구리당량치간의 관계식의 결정계수는 모두 0.99 이상으로 비교적 안정적이었다. 그럼에도 불구하고 Table 1에서 보는 바와 같이 0.1 mm 구리스텝웨지에 의한 요추 전체의 구리당량치는 평균 0.22±0.06 mm이었고 환산식에 의한 추정 하이드록시아파타이트 밀도는 1.03 g/cm²로서 실제 밀도와 가장 유사하였으나 0.03 mm 및 0.05 mm 구리 스텝 사용시는 큰 차이를 나타내었다.

Sinoda 등²²에 의하면 TV이미지에 의해 선상에서 정량 계산된 하악골편의 칼슘량은 원자흡광분석법으로 측정된 칼슘양에 비해 전치부에서 12.8-15.0%의 감소된 값을 보였고, 구치부에서는 각각 1.1%, 5.0%의 감소치를 나타내었다고 하였다. 하악 건조골의 골소편에 대한 알루미늄 당량치로부터 환산된 측정치와 QCT에 의해 얻어진 측정치와의 상관계수는 0.935였으며 실제 측정치에 비해 10% 정도 감소되어 알루미늄 당량치로부터의 추정질량치가 얻어졌다고 보고¹¹된 바도 있다. 이와 같이 측정값과 실제값은 차

Table 2. Relationship between Cu thickness and density of hydroxyapatite (HA)

	equation	μmCu for HA 1 g/cm ²
Okada et al. ²³	$y = -0.62 + 0.17x$ (y; μmCu , x; HA mg/cm ²)	170
Sun et al. ¹⁷	$y = 5.001x - 75.19$ (y; HA mg/cm ² , x; μmCu)	215
Kim	$y = 6.47x - 0.39$ (y; HA g/cm ² , x; mmCu)	215

이를 나타낼 수 있다. 그러나 본 실험에서는 한 장의 방사선필름에 동일한 조건으로 촬영된 영상에서 동일 부위를 측정하였는데 서로 다른 두께단위의 구리스텝을 적용함에 따라 다른 결과치가 얻어진 것으로 구리스텝의 단위두께는 골밀도 측정치에 큰 영향을 줄 수 있음을 시사하였다.

한편 이러한 차이는 적용된 구리당량치와 하이드록시아파타이트밀도 간의 관계식에 의한 차이일 수 있어 Table 2에서 보는 바와 같이 기존 연구와 비교검토한 바 하이드록시아파타이트 1 g/cm²을 위한 구리당량치가 Sun 등¹⁷의 보고인 215 μmCu 와 일치되었으므로 측정된 골밀도의 차이는 적용된 구리스텝의 단위두께의 차이에 기인된 것임을 알 수 있었다.

이에 Fig. 1에서 보는 바와 같이 방사선사진을 색상강화 시킴으로써 일반 방사선사진영상과는 달리 구리스텝웨지의 두께분포와 요추의 골밀도 분포가 다양한 색으로 평가될 수 있었다. 0.1 mm 구리 스텝웨지는 모든 색을 포함하고 있었으나 0.03 mm 및 0.05 mm 구리스텝웨지는 요추에서 보이는 파란색과 녹색 골밀도를 나타내는 부위를 포함하지 않고 있다. 즉 0.05 mm 단위스텝의 10번째인 0.5 mm 이상의 밀도를 평가하기에는 이렇게 얇은 구리스텝이 부적절할 수 있음을 뜻한다고 생각되었다. 따라서 사용되는 구리스텝은 평가하고자하는 골조직의 평균치를 중심으로 위아래로 충분한 범위의 밀도를 포함할 수 있는 두께를 유지하여야 한다고 생각되었다. 한편 본 실험에서 구내방사선촬영에 의한 평가를 시도하였으나 판틈의 일부분 밖에 촬영이 되지않고 연조직에 해당하는 수지가 너무 두터워 구내방사선 촬영기의 노출이 과다하였다. 그러한 방사선 노출값은 실제 노출과 차이가 있어 실험을 포기하였다.

참고로 DEXA법에 의해 측정된 여성 120명에서의 요추의 전후방 주사시 골밀도가 1.4 g/cm²-0.4의 범위 내에 있었다고 보고²⁴되어 있다. Sinoda 등²²에 의하면 TV이미지에 의해 선상에서 정량 계산된 하악골편의 칼슘량이 구치부에서 17.67 mg, 18.80 mg을 나타내었다고 하였다. 이와 같이 측정되는 부위별로 골밀도에 차이가 있으므로 향후 하악골의 여러 보편적 부위에 대한 평균 구리당량치에 대한 연구가 필요하며 그에 적절한 구리스텝도 제작되어야 할 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- Robertson DD, Huang HK. Quantitative bone measurements using x-ray computed tomography with second-order correction. *Med Phys* 1986; 13: 474-9.
- 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.
- Krokowski E, Steiner D. Roentgenologische bestimmung des kalziumgehalts im menschlichen skelett. *Med Klin* 1961; 56: 2073-6.
- Katoh T, Shimada K, Chiba M, Kobayashi T. The basic study on bone mineral assessment with dual energy radiographic densitometry method. *齒放* 1978; 18: 278-95.
- Ishigaki T, Sakuma S, Horikawa Y, Ikeda M, Yamaguchi H. One-shot dual-energy subtraction imaging. *Radiology* 1986; 161: 271-3.
- Horner K, Devlin H, Alsop CW, Hodgkinson IM, Adams JE. Mandibular bone mineral density as a predictor of skeletal osteoporosis. *Br J Radiol* 1996; 69: 1019-25.
- Ruttimann UE, Webber RL, Schmidt E. A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. *J Periodontal Res* 1986; 21: 486-95.
- Noda K. A study on the quantitative observation of the roentgenogram of the periapical lesions. *口病誌* 1977; 44: 96-112.
- 조형희, 김은경. 방사선사진용 디지털 영상시스템의 정량적 평가에 관한 실험적 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 1994; 24: 137-48.
- 岩下洋一朗, 森田康彦, 野井倉武憲. 口内法X線寫眞の AI當量畫像. *齒放* 1989; 29: 289-94.
- 野井倉武憲, 森田康彦, 岩下洋一朗. アルニウム當量畫像に關する骨塩量の測定による相違. *齒放* 1994; 34: 171-7.
- Hildebolt CF, Vanier MW, Pilgram TK, Shrout MK. Quantitative evaluation of digital dental radiograph imaging systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990; 70: 661-8.
- Hildebolt CF, Vannier MW, Gravier MJ, Shrout MK, Knapp RH, Walkup RK. Digital dental image processing of alveolar bone: Macintosh II personal computer software. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21: 162-9.
- Ortman LF, Dunford R, McHenry K, Hausmann E. Subtraction radiography and computer assisted densitometric analyses of standardized radiographs, A comparison study with ¹²⁵I absorptiometry. *J Periodontal Res* 1985; 20: 644-51.
- Vos MH, Janssen PTM, van Aken J, Heethaar RM. Quantitative measurement of periodontal bone changes by digital subtraction. *J Periodontal Res* 1986; 21: 583-91.
- Nagamine N, Tani K, Hara Y, Akamine A, Maeda K, Kauda H, et al. Radiographic quantitative analysis of bone repair on chronic apical periodontitis. *日本齒科保存學雜誌* 1986; 28: 232-42.
- Sun H, Ohki M, Yamada N. Quantitative evaluation of bone repair of periapical lesions using digital subtraction radiography. Part 2: Clinical application. *Oral Radiol* 1991; 7: 35-46.
- 米良豊常. デジタルサブトラクション法による齒槽骨變化の評價. *日齒周誌* 1989; 31: 129-46.
- 김재덕, 김영진. 시간경과에 따른 골변화의 영상분석에 관한 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 1997; 27: 521-34.
- 박원길, 최의환, 김재덕. 하악골 골밀도의 정량적평가에 관한 비교 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 1999; 29: 161-74.
- 김재덕. 구리당량 영상작성에 의한 골밀도측정방법의 평가. *대한구강악안면방사선학회지* 2000; 30: 101-8.

22. Sinoda K, Hashimoto K, Ohki T, Arai Y, Togawa K, Kawashima S, et al. Quantitative analysis of bone destruction by an intraoral fluoroscopic TV system. 齒放 1987; 27: 346-54.
23. Okada R, Horiuchi H. Copper equivalent transformation of alveolar bone x-ray images and the effect of various contrast transformations. 日齒保誌 1990; 33: 1731-46.
24. Hirose K, Kuramochi Y, Iba S. Investigation on bone mineral density and exposure factors. 日本放射線技術學會雜誌 1995; 51: 294.