CBCT 영상에서 무치악부 임프란트 매식체 주위골 골밀도(HU)의 정량적 평가

조선대학교 대학원 치의학과, 구강생물학연구소
구종국 · 김진수 · 김재덕

Quantitative assessment of periimplant bone density (HU) on CBCT image

Jong-Gook Goo, Jin-Soo Kim, Jae-Duk Kim
Department of Dental Science Graduate School & Oral Biology Research, Chosun University

ABSTRACT

Purpose : The primary aims of this retrospective study were to compare subjective bone quality and bone quality based on the Hounsfield scale in different segments of the edentulous jaw, and to establish quantitative and objective assessment of the bone quality.

Materials and Methods : Twenty eight randomly selected cone-beam computed tomographic (CBCT) scans were analyzed. For evaluation one hundred and twelve edentulous areas were selected. Implant recipient sites were evaluated visually for Lekholm and Zarb classification. The same sites were subsequently evaluated digitally using the Hounsfield scale with Vimplant2.0^{TM}, and the results were correlated with visual classification. Data was subject for statistical analysis in order to determine correlation between recorded HU and the regions of the mouth with the Kruskal-Wallis test.

Results : The highest unit/mean density value (311 HU) was found in the anterior mandible, followed by 259 HU for the posterior mandible, 216 HU for the anterior maxilla, and 127 HU for the posterior maxilla. These results demonstrate a strong correlation for HU depending on the region of the mouth ($p<0.001$). The relationship between HU and type 4 bone was found to be significant ($r=0.74$).

Conclusion : Knowledge of the Hounsfield value as a quantitative measurement of bone density can be helpful as a diagnostic tool by using CBMercuRay^{TM} with Vimplant^{TM} software. (***Korean J Oral Maxillofac Radiol 2008; 38 : 1-5***)

KEY WORDS : Bone Density; Tomography, Cone-Beam Computed

서 론

1985년 Branemark가 골유착을 처음 소개한 이래 임프란트 성공의 중요인자로서 잔존골의 형태 질 그리고 밀도가 강조되어왔다.[1-5] Trisi와 Rao[6]의 임상적 골질과 골소주의 조직형태계측간 비교연구에서 Misch의 분류[7]인 드릴링 저항의 주관적 인지도 중 D1과 D4로 분류되는 밀도는 골소주 백분율과 강한 연관성을 나타내었으나 D2, D3는 그 차이를 나타내지 못하였다. 최근까지 Friberg 등[8]에 의해 이러한 구내 수술 중 드릴링 개념이 골질의 객관적평가로 추천되어왔으나 임프란트 시술전에 사용될 수 있는 객관적이며 양적 골밀도 분류가 필요하다.

과거 방사선을 이용하여 생체에서 골밀도를 평가하고자 광학농도측정계(radiographic photodensitometry)를 이용한 연구[9]가 있었으나 그 측정 구멍이 작아 필름 전체의 정보를 얻기에는 상당한 시간과 노력을 요하여 다량의 데이터를 처리하는 데에는 너무 불편하였다. 이중에너지 X-선 흡수계(DEXA)법은 면적으로 이루어진 정보로서 골밀도 측정이 가능하여 이를 이용한 골염도 분석기(bone mineral analyzer: BMA)가 완골 척추등에 사용되어[10-12] 그 임상적 유용성이 인정되고 있으나 악골은 구조상 복잡한 형태를

*이 논문은 2007년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.
접수일 : 2007년 10월 16일; 심사일 : 2007년 10월 17일; 채택일 : 2007년 12월 18일
Correspondence to : Prof. Jae-Duk Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental School, Chosun University, 375 Sosokdong, Gwangju 501-759, Korea
Tel) 82-62-220-3880, Fax) 82-62-227-0270, E-mail) jdakim@chosun.ac.kr

갖고 있고 다른 골부와 많이 중첩되어있어 악골에 적용시켜 측정하기에는 제약이 따른다. 전산화단층촬영술의 개발과 함께 정량적 전산화 단층촬영법 (Quantitative Computed Tomography: QCT)이 말단골이나 임의 척추골의 골밀도를 측정하는데 사용되고 있다.[13-16] QCT의 HU (Hounsfield Unit)를 이용한 임상연구로는 1987년 건강한 유아에서 뇌의 회질과 백질 간에 정확히 8 HU 차이를 나타내었다는 보고[17]와 1998년 폐암의 경우 13 HU를 초과했다는 보고[18]등 다양하였다. 치과계에서도 임프란트 식립 전에 사체하악골에서 정량적 전산화 단층촬영법을 이용하여 HU와 칼슘하이드록시아파타이트 간의 관계식을 만들고 골염도를 평가하여 HU와 임프란트 삽입토크와의 상관관계에 대한 연구[19]가 보고되었다. Fanuscu 등[20]은 사체의 상 하악치조골에서 각 부위의 해면골에 대한 육안적 골질분류와 HU를 측정하여 하악 전치 Q2 평균 529 HU, 상악 전치 Q3 389 HU, 상악 구치 Q4 204 HU, 하악 구치부 Q3 80 HU의 결과를 보고한 바 있다. 그 외 여러 나선형회전식 일반전산화단층촬영기를 이용하여 악골의 각 부위의 골밀도를 HU로 평가한 보고들[21-25]이 있어 그 유용성은 검증되고 있으나 이러한 나선형회전식 일반전산화단층촬영장치는 치과임상에서 사용되기에 그 설비와 경제적 부담이 크고 환자의 X-선 피폭량이 크며 간편하지 않다.

최근 개발된 콘빔CT (cone beam computed tomography: CBCT)는 나선형회전식 일반전산화단층촬영기와 스캔모드에서 차이가 있다. 일반전산화단층영상은 진보된 나선형회전식이라도 100회 이상 회전하며 스캔하는데 반해 이들 CBCT는 한번의 회전을 통해 스캔이 완료되어 그 스캔시간이 짧고 노출양도 현저히 낮다. 또한 얻어진 볼륨데이터는 높은 해상도로 악골의 축면상 협설단면상 그리고 파노라믹상을 동시에 평가 가능하도록 정보를 제공하여 임프란트 술전 평가에 매우 유용하다. CBCT에 대하여는 기존CT와 유사형인 Newtom™ (QR-DVT9000; QR,Verona, Italy)에 대해서만 HU (QCBCT)와 실제 골밀도간의 관계식[26]이 보고되어 있고 사체 악골에서 QCT와 기존CT형 (Newtom™)의 QCBCT간 HU를 비교하여 전반적으로 QCBCT의 HU 값이 높았다는 보고[27]가 있으나 다양한 제품의 QCBCT 각각에서 골질과 연관된 체계적 HU 평가가 희귀하다.

한편 CBCT의 볼륨데이터를 이용하여 임플란트 수술부에서 다양한 평가를 할 수 있도록 고안된 소프트웨어가 많이 개발되어 보급되고 있다. 이러한 프로그램은 임프란트의 시뮬레이션이 가능하고 매식체 주위 골조직에 대해 간편히 HU의 밀도를 제공하기도 한다.[21]

본 연구에서는 새로운 파노라마형 기종의 CBCT로 촬영된 환자의 하악 전방부 상악 전방부 하악 후방부 상악 후방부의 4 임프란트 수술 영역에서 매식체 주위 골조직의 HU를 간편히 제공하는 Vimplant2.0™ 소프트웨어를 이용하여 임프란트 식립부에 임플란트를 시뮬레이션하여 위치시킨 다음 매식체 주위골조직의 골밀도를 HU 스케일로 측정하고 Lekholm과 Zarb[5]의 주관적 골질분류법과 비교하여 분석함으로써 임프란트 시술 전에 식립부에 대하여 객관적인 골밀도를 평가할 수 있는 정량적 방법을 정립하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구에서는 조선대학교 치과병원에 임프란트를 위해 내원한 무치악 또는 부분 무치악 환자들에게서 촬영된 총 28개의 콘빔CT영상의 112부위를 연구대상으로 하였다. 그 부위들은 하악 전방부 25부위, 상악 전방부 25부위, 하악 후방부 32부위, 상악 후방부 30부위였다.

2. 연구방법

1) Cone beam CT 촬영

촬영장치로는 CBMercuRay™ (Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하였다. 각 환자들은 교합면이 촬영실 바닥평면과 평행이 되도록 고정장치로 두부를 고정시킨 후 임프란트 모드로 촬영되었다. 촬영조건은 관전압 120 kVp 관전류 15 mA 노출시간 9.6초이었으며 영상획득 후 영상의 모든 데이터는 CBworks™ 소프트웨어 (Hitachi, Tokyo, Japan)에서 DICOM 3.0 format을 가지는 512매의 횡단면 영상이 얻어져 CD에 저장되었다. 이러한 FOV 약 102 mm의 볼륨데이터를 삼차원 영상분석 및 다면영상 재구성용 Vimplant2.0™ (CyberMed Inc., Korea) 소프트웨어를 사용하여 분석하였다.

2) 임프란트 시뮬레이션과 계측

촬영된 4부위는 먼저 Lekholm과 Zarb[5]의 분류에 따라 방사선영상에서 육안적으로 등급을 결정하였다.

Quality 1: 악골이 전반적으로 높은 밀도를 보이는 경우
Quality 2: 높은 밀도의 해면골과 그를 둘러싸는 두터운 피질골
Quality 3: 높은 밀도의 해면골과 그를 둘러싸는 얇은 피질골
Quality 4: 낮은 밀도의 해면골과 그를 둘러싸는 얇은 피질골

촬영된 4부위에서 Vimplant2.0™ 소프트웨어를 이용하여 10 mm × 3.25 mm의 임프란트를 각 무치악부에 시뮬레이션하여 식립하였다 (Fig. 1).

이어 프로그램을 이용하여 가상 임프란트 주위 골조직에 대하여 객관적 골밀도로서 HU의 평균치를 계산하였다 (Fig. 2).

Kruskal-Wallis test를 이용하여 HU와 구강내 4 지역간의

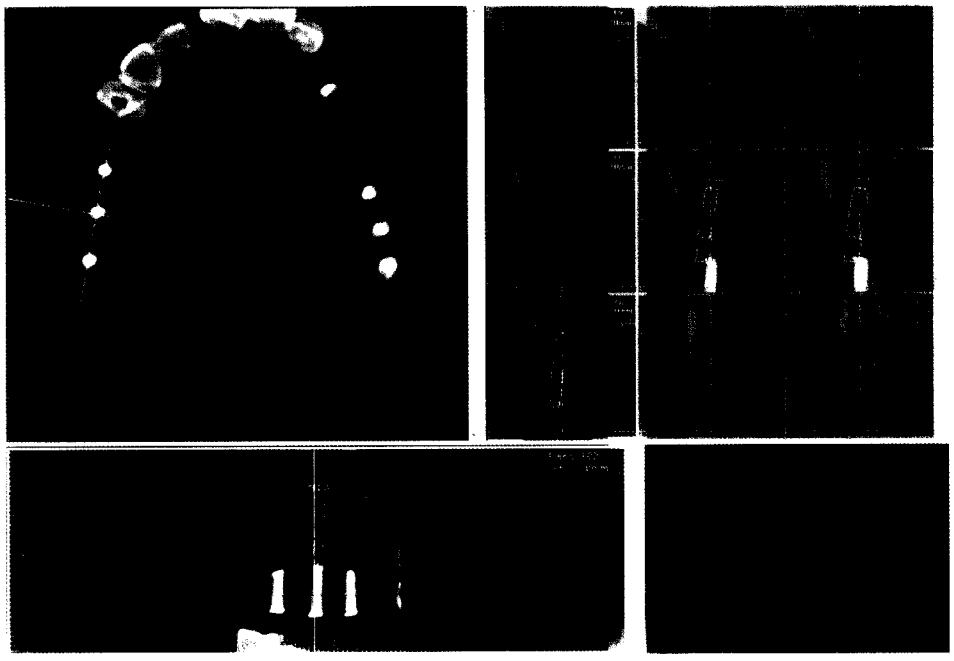

Fig. 1. The simulation of implant (10 mm × 3.25 mm) in the edentulous jaw.

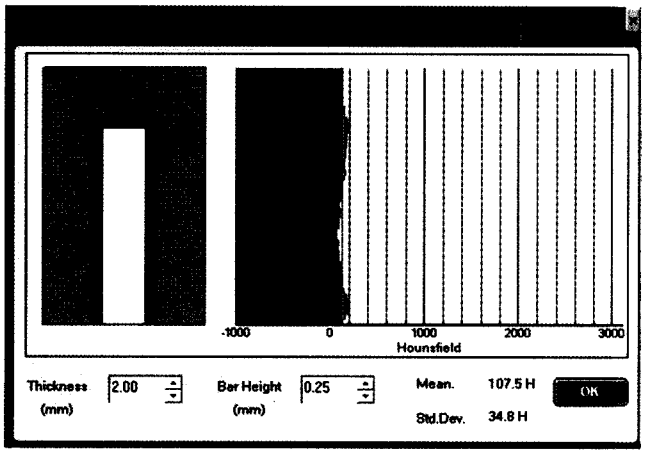

Fig. 2. The bone map around the implant reveals a mean bone density of 107.5 HU.

Table 1. Maximum, minimum, and mean HU with standard deviation at 4 areas of both jaws; lower ant (La), upper anterior (Ua), lower posterior (Lp), upper posterior (Up)

	Max	Mean	Min
La	541	311±230	−117
Lp	516	259±112	57
Ua	433	216±121	33
Up	319	127±126	−128

Table 2. Mean HU with standard deviation, maxium, and minimum in each subjective bone quality

	Max	Mean	Min
Q1	541	530±95	524
Q2	516	257±124	57
Q3	433	226±85	103
Q4	122	57±41	4

상관성을 통계적으로 검증하였고 골질(HU)과 주관적 골질등급간의 단순상관관계를 검증하였다.

결 과

구강내의 4부위에서 골질의 차이를 나타내어 하악 전치부의 평균은 311 HU (+541/−117 HU), 하악 구치부 259 HU (+516/+57 HU), 상악 전치부 216 HU (+433/+33 HU), 상악 구치부 127 HU (+319/−128 HU)의 순서로 값을 나타내었다 (Table 1).

이러한 결과는 골밀도(HU)와 구강내 4부위 순서 사이에 강한 상관관계 ($p<0.001$)를 나타내었다.

골질에 대한 주관적인 평가를 분석해 보면 각 골질등급 안에서 HU값이 넓게 분포되어 있었으며 Q2와 Q3의 평균값 간에는 통계학적으로 유의한 차이 ($p=0.30$)를 보이지 않았다.

그러나 모든 각 골질의 데이터를 종합하여 보았을 때에는 HU값과 주관적인 골질 1부터 4까지의 분류 (Q1, 2, 3, 4) 사이에는 비교적 높은 상관관계 ($r=0.74$)를 나타내었다.

고 찰

최근 개발된 CBCT의 한 종류인 CBMercuRay™는 외형

이 파노라마 촬영장치와 닮아 환자분이 촬영받기 편하며 볼륨스캔을 하여 결과적으로 볼륨데이터를 획득한다. 또한 일반전산화단층영상보다 해상도가 10배 높고 dental mode implant mode panoramic mode 등 다양한 FOV 크기와 해상도를 갖는 스캔기능이 있다. 이 장치의 HU에 대하여는 아직 체계적 관계성이 검토되어있지 않으나 CBCT의 볼륨데이터를 이용하기 위해 고안된 Simplant™와 같은 소프트웨어는 임프란트의 시뮬레이션이 가능하고 매식체 주위 골조직에 대해 간편히 HU의 밀도를 제공할 수 있다.[21]

골질의 분류법으로는 Lekholm과 Zarb[5]이 피질골대 해면골의 양에 근거한 4가지 분류를 제시하였고 Misch[7]는 골의 임상적 경도에 근거하여 D1은 오크나 단풍나무를 D2는 스프로부스 소나무, D3는 발사나무, D4는 스치로폼을 드릴링할 때의 경도로 분류하였다. 이러한 분류법은 육안적이거나 주관적이며 시술과 동시에 평가되는 분류방법이어 임상적의의가 크지 않았다. 즉 Jaffin과 Berman[4]에 의하면 불량한 골질을 가진 골에서 임플란트 실패율이 높았다고 보고된 만큼 임상의들은 임프란트 시술 전에 골의 상태를 미리 예측할 수 있는 능력이 필요하다. 따라서 주관적인 골질분류와 객관적이고 정량적 골밀도 단위인 HU 사이에 관련성이 존재한다면 본 실험에 사용된 CBCT장치에서 HU값을 측정할 수 있는 프로그램을 이용하여 평가해 볼 필요가 있다고 생각되었다.

Hounsfield scale은 사용하는 스캐너에 따라 다양하다. 본 연구에 사용된 CBMercuRay™는 window level 범위가 −1024에서 +3071이 되어 HU 측정이 가능한 소프트웨어인 Vimplant2.0™을 이용하여 매식체를 시뮬레이션하고 Hounsfield scale도 −1000에서 +3000 HU사이 범위에서 측정되었다(Fig. 2). 이 범위내에서 공기의 밀도는 −1000 HU와 동일하며 물은 0 HU와 같고 금속성 치과 수복물의 경우 +3000 HU 이상의 값을 보이게 된다.

이 연구에서 얻어진 데이타들은 총체적으로 볼 때 골은 4 HU에서 541 HU사이의 값을 보였다. 그러나 일부 골에서의 측정값은 마이너스 값이 나타났는데 이는 골소주강이 높은 지방 함량으로 인한 결과[21]로 생각된다. 임플란트가 보통 매식체의 총 길이를 따라 골과 상호작용을 하기 때문에 이러한 상한 및 하한 값들은 진단범위 내에서 고려되어야 할 것이다.

본 실험에서 구강내의 4부위에서 골질의 차이를 나타내어 하악 전치부, 하악 구치부, 상악 전치부, 상악 구치부의 순서로 값을 나타내었다 이 값은 사체표본을 이용한 실험을 제외한 나머지 실험과 유사하여 하악 전치부(La)가 전체적으로 가장 골밀도가 높았고 상악 구치부(Up)가 가장 낮았다(Table 3). 본 연구에서는 상악 전치부(Ua)와 하악 구치부(Lp)에서 그 순서가 뒤바뀌었는데 이는 무치악이 된 후 그 경과시간에 따라 달라질 수 있다고 생각되었으며 각 보고마다 HU의 값에 큰 차이를 나타낸 것은 사용된 기계와 골질을 평가한 면적의 차이에 따라 다르게 나타날 수도 있다고 생각되었다. 특히 본 실험 결과치는 타 보고에 비해 반 이하의 값을 전반적으로 나타내었는데 이는 나선형전산화단층촬영과 콘빔CT의 조사방사선 양의 차이에 의해 나타난 HU의 차이로 생각되었다.

Table 3. Comparison of mean values of HU at 4 areas of both jaws; lower anterior (La), upper anterior (Ua), lower posterior (Lp), upper posterior (Up)

		La	Ua	Lp	Up
Famuscu et al.[20]	Cadavar	529	389	80	204
Norton et al.[21]	Periimplant	970	696	670	417
Author	Periimplant	311	216	259	127
Shapurian et al.[24]	ROI	559	517	321	333
Turkyilmaz et al.[25,28,29]	ROI	945	716	674	455

한편 기존CT형인 Newtom™의 QCBCT와 QCT 사이에 사체 악골에서 측정된 HU값을 비교한 연구에서 전반적으로 QCBCT의 HU값이 높았다는 보고[27]와 본 실험에서는 반대의 결과를 나타내었는데 이 또한 콘빔CT 중에서도 CBMercuRay™는 그 스캔양식이 다르기 때문으로 생각되었다. 그러나 구강 내의 4부위와 HU 골질 사이에 강한 상관관계가 존재하였고 이는 대부분의 보고와 일치하였다.

상악과 하악의 구치부를 비교하여 보면 하악이 상악보다 골질이 우수하여 Norton 등,[21] Turkyilmaz 등[25,28,29]과 일치하였으나 Shapurian 등[24]의 보고와는 거의 유사한 값을 나타내었다. 이는 임프란트의 높은 잔존율과도 관계가 있다고 생각되었다. Turkyilmaz 등[29]은 230개 임프란트지역에서 평균 721 HU와 39.1N cm의 삽입토크를 나타내었으며 이들 간의 상관관계는 r=0.664였다고 하였다. Lee 등[30]은 삽입토크와 CT 및 CBCT (Newtom™)의 HU 간에는 각각 r=0.61, r=0.64의 상관관계를 나타내었으나 주관적 드릴링은 다소 낮은 상관관계를 보였다고 보고 하였다. 특히 드릴링 저항그룹간의 차이를 인정하려면 180 HU 차이가 필요하다고 하였는데 향후 CBMercuRay™에서도 이러한 관계가 검증되어야 하며 임상적으로 최소 골질에 대한 기준도 마련되어야 할 것으로 생각된다. 또한 본 실험에서 사용된 임프란트 시뮬레이션 소프트웨어는 치조골 전체를 관심영역(region of interest: ROI)으로 정하는 기능이 없었고 매식체 주위 2 mm의 골을 평가의 대상으로 하였는데 임상적으로 드릴링 시 골이 주위 골조직으로 압축되는 현상을 함께 시뮬레이션 시킬 수 있도록 프로그램이 발전될 필요가 있다고 생각되었다. 만약 임프란트의 사이즈가 달라질 경우 평균적인 밀도가 다르게 나타날 수 있어 잔존골 전체를 관심영역으로 정하는 것보다 의미가 있다고 생각된다.

한편 주관적 골질 분류와 HU간에 전반적인 상관관계는 보였으나 주관적인 시각적 골등급 간의 HU 측정치에서

Q2와 Q3 간에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 또한 각 골 등급 내에서 HU값도 넓게 분포되어 있었는데 각 개인의 골질 차이 그리고 무치악 경과기간의 차에 의한 잔존골 양과 질의 차이에 의해 다양한 값을 나타낸 것으로 생각된다. 이는 Trisi와 Rao[6]의 보고와도 일치하는바 임상의들이 골질을 분류해 진단예측자로 사용함에 있어 절대적인 값보다는 밀도범위를 모두 유연하게 사용하여 각 환자의 골질을 정량적으로 이해하고 임상에 임해야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. Tissue integrated prostheses: Osseo-integration in clinical dentistry. Chicago: Quintessence; 1985.
2. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Branemark PI. A 15 years study of osseointegrated implants in the treatment of edentulous jaw. Int J Oral Maxillofac Surg 1981; 10 : 387-416.
3. Cox JF, Zarb GA. The longitudinal efficacy of osseointegrated dental implants. A 3-year report. Int J Oral Maxillofac Implants 1987; 2 : 91-100.
4. Jaffin R, Bermann C. The excessive loss of Branemark fixtures in type IV bone: a 5-year analysis. J Periodontol 1991; 62 : 2-4.
5. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In: Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. eds. Osseointegration in clinical dentistry. Chicago: Quintessence; 1985. p. 199-209.
6. Trisi P, Rao W. Bone classification: clinical-histomorphometric comparison. Clin Oral Impl Res 1999; 10 : 1-7.
7. Misch CE. Density of bone: effect on surgical approach, and healing. In: Misch CE. eds. Contemporary Implant Dentistry. St. Louis: Mosby -Year Book; 1999. p. 371-84.
8. 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 Impl Res 1995; 6 : 164-71.
9. Matsue I, Zimmermann ER, Collings CK, Best JT. Microdensitometric analysis of human autogenous implant II Two dimensional density and pattern analysis of interproximal alveolar bone. J Periodont 1971; 42 : 435-8.
10. Katoh T, Shimada K, Chiba M, Kobyashi T. The basic study on bone mineral assessment with dual energy radiographic densitometry method. Oral Radiol 1978; 18 : 278-95.
11. Ishigaki T, Sakuma S, Horikawa Y, Ikeda M, Yamaguchi, H. One-shot dual-energy subtraction imaging. Radiology 1986; 161 : 271-3.
12. Park WK, Choi EH, Kim JD. A comparative study of quantitative assessment of bone mineral density of mandible. Korean J Oral Maxillofac Radiol 1999; 29 : 161-73.
13. Robertson DD, Huang HK. Quantitative bone measurements using x-ray computed tomography with second-order correction. Med Phys 1986; 13 : 474-9.
14. Schwarz MS, Rothman SLG, Rhodes ML, Chafetz N. Computed tomography: Part I. Preoperative assessment of the mandible for endosseous implant surgery. Int J Oral Maxillofac Implants 1987; 2 : 137-41.
15. Schwarz MS, Rothman SLG, Rhodes ML, Chafetz N. Computed tomography: Part II. Preoperative assessment of the maxilla for endosseous implant surgery. Int J Oral Maxillofac Implants 1987; 2 : 143-8.
16. 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.
17. Boris P, Bundgaard F, Olsen A. The CT (Hounsfield unit) number of brain tissue in healthy infants. A new reliable method for detection of possible degenerative disease. Childs Nerv Syst 1987; 3 : 175-7.
18. Mayer R, Stanton K, Kleinberg L, Chakravarthy A, Fishman E. CT number distribution and its association with local control and as a marker of lung tumor response to radiation. Radiat Oncol Investig 1998; 6 : 281-8.
19. Homolka P, Beer A, Birkfellner W, Nowotny R, Gahleitner A, Tschabitscher M, et al. Bone mineral density measurement with dental quantitative CT prior to dental implant placement in cadaver mandibles: pilot study. Radiology 2002; 224 : 247-52.
20. Fanuscu MI, Chang T-L. Three-dimensional morphometric analysis of human cadaver bone: microstructural data from maxilla and mandible. Clin Oral Impl Res 2004; 15 : 213-8.
21. Norton RM, Gamble C. Bone classification:an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. Clin Oral Impl Res 2001; 12 : 79-84.
22. Shahlaie M, Gantes B, Schulz E, Riggs M, Crigger M. Bone density assessments of dental implant sites: 1. Quantitative computed tomography. Int J Oral Maxillofac Implants 2003; 18 : 224-31.
23. 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 Impl Res 2003; 14 : 616-20.
24. Shapurian T, Damoulis PD, Reiser GM, Griffin TJ, Rand WM. Quantitative evaluation of bone density using the Hounsfield index. Int J Oral Maxillofac Implants 2006; 21 : 290-7.
25. Turkyilmaz I, Tözüm TF, Tumer C. Bone density assessments of oral implant sites using computerized tomography. J Oral Rehabil 2007; 34 : 267-72.
26. Lagravère MO, Fang Y, Carey J, Toogood RW, Packota GV, Major PW. Density conversion factor determined using a cone-beam computed tomography unit NewTom QR-DVT 9000. Dentomaxillofac Radiol 2006; 35 : 407-9.
27. Aranyarachkul P, Caruso J, Gantes B, Schulz E, Riggs M, Dus I, et al. Bone density assessments of dental implant sites: 2. Quantitative cone-beam computerized tomography. Int J Oral Maxillofac Implants 2005; 20 : 416-24.
28. Turkyilmaz I, Tözüm TF, Tumer C, Ozbek EN. Assessment of correlation between computerized tomography values of the bone, and maximum torque and resonance frequency values at dental implant placement. J Oral Rehabil 2006; 33 : 881-8
29. Turkyilmaz I, Tumer C, Ozbek EN, Tözüm TF. Relations between the bone density values from computerized tomography, and implant stability parameters: a clinical study of 230 regular platform implants. J Clin Periodontol 2007; 34 : 716-22.
30. Lee S, Gantes B, Riggs M, Crigger M. Bone density assessments of dental implant sites: 3. Bone quality evaluation during osteotomy and implant placement. Int J Oral Maxillofac Implants 2007; 22 : 208-12.