

임플란트 보철 기능후 고정체 주변 콘빔CT 골밀도 평가

서남대학교 치과학교실, *조선대학교 치의학전문대학원 보철학교실
**조선대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실
정재현 · 황인택* · 정병현* · 김재덕** · 강동완*

Bone density around the fixture after function of implant molar prosthesis using CBCT

Jae-Hyun Jung, In-Taik Hwang*, Byung-Hyun Jung*, Jae-Duk Kim**, Dong-Wan Kang*

Department of Dentistry, Seo Nam University

*Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Oral Biology Research Institute, Chosun University

**Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Oral Biology Research Institute, Chosun University

ABSTRACT

Purpose : The purpose of this study was to examine the significance of increased bone density according to whether bone grafts were applied using demographic data with Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and to compare the bone densities between before and after implant prosthesis using the Hounsfield index.

Materials and Methods : Thirty-six randomly selected computed tomography (CT) scans were used for the analysis. The same sites were evaluated digitally using the Hounsfield scale with V-Implant 2.0™, and the results were compared with maxillary posterior bone graft. Statistical data analysis was carried out to determine the correlation between the recorded Hounsfield unit (HU) of the bone graft and implant prosthesis using a Mann-Whitney U test and Wilcoxon Matched-pairs test.

Results : The bone grafted maxillary posterior teeth showed an increase in the mean values from-157 HU to 387 HU, whereas non-grafted maxillary posterior teeth showed an increase from 62 HU to 342 HU. After implantation, the grafted and non-grafted groups showed significantly higher bone density than before implantation. However, the grafted group showed significantly more changes than the non-grafted group.

Conclusion : Bone density measurements using CBCT might provide an objective assessment of the bone quality as well as the correlation between bone density (Hounsfield scale) and bone grafts in the maxillary molar area. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2010; 40 : 1-7)

KEY WORDS : Dental Implant; Bone Density; Cone-Beam Computed tomography

서론

임플란트는 1952년 Bränemark¹에 의해 골유착 개념이 소개된 이래 단일 치아 수복이나 부분, 혹은 완전 무치악 수복에서 가장 흔히 이용되는 수복 방법으로 선택되고 있다.

나이가 임플란트의 성공은 환자의 전신 건강상태, 임플란트 재료의 생체 친화성, 외과적인 시술과정, 임플란트의 표면 특성, 식립 부위의 골질 상태에 영향을 받으며 그 외 잔존골의 형태와 밀도 역시 강조되고 있다.²

생체에서 골밀도를 평가하기 위해 과거에는 광학 농도

측정계 (radiographic photodensitometry)를 이용한 연구³가 있었으나 측정 구멍이 작아서 필름전체 정보를 얻기에는 상당한 시간과 노력이 요구되어 다량의 데이터를 처리하는데 불편함이 있었다. 따라서 이중 에너지 X선 흡수계 (Dual energy x-ray absorptiometry: DEXA)법이 개발되었으며 이를 이용한 골염도 분석기 (bone mineral analyzer: BMA)가 완골, 척추 등에 사용되어^{4,6} 임상적 유용성이 인정되고 있으나 악골 구조상 복잡한 형태를 갖고 있고 다른 골부와의 중첩이 많아 악골에 적용하기에는 제약이 따랐다.

1972년 Godfrey Hounsfield는 Computerized Axial Tomography (CAT) scanning⁷으로 명명하는 새로운 이미지 촬영법을 소개하였으며, Schwarz와 Rothman 등^{8,9}은 1987년 치과 임플란트 치료에 요구되어지는 술전 정량적 평가에 Computerized Tomography (CT) scan을 사용하는 방법을 시

접수일 (2010년 1월 9일), 수정일 (2010년 1월 27일), 채택일 (2010년 1월 31일)
Correspondence to : Prof. Dong-Wan Kang
Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Oral Biology Research Institute, Chosun University
Tel) 82-62-220-3827, Fax) 82-62-227-2363, E-mail) dwkang@chosun.ac.kr

도하였고, CT는 현재까지도 악골의 밀도와 구조에 대해서 진단 예측이 가능한 합리적인 방법으로 해면골과 피질골의 상대적 분포를 평가하는 데 있어서도 매우 유용한 도구로 여겨지고 있다.

최근 정량적 전산화 단층촬영술의 개발과 함께 Quantitative Computed Tomography (QCT)가 개발되어 QCT의 Hounsfield unit (HU)값을 이용한 임상 연구에서 유아 뇌의 회색질과 백질 간에 정확히 8HU 차이를 나타내었다는 보고¹⁰ 이래 말단골이나 임의 척추골의 골밀도를 측정하는데에도 사용되어 왔으나^{8,9,11,12} 측정 비용이 비싸고 방사선 피폭량이 많다는 단점이 있다.

골밀도 측정을 위해 Norton과 Gamble 등¹³은 나선형회전식 일반 CT에서 HU 값을 이용한 술전 평가를 통해 골질에 대한 객관적이고 정량적인 기준이 되는 영상에 근거한 골밀도 분류법을 제안하였으며, 치과계에서도 Fanuscu와 Chang 등¹⁴은 사체의 상악 치조골에서 각 부위의 해면골에 대한 육안적인 골질을 분류하여 HU를 측정하 바, 하악에서 51-529 HU, 상악에서는 186-389 HU의 평균 수치를 보고한 바 있다.

최근에는 치과 임상 각 분야에서도 전산화 단층영상의 필요성이 매우 높아지고 있다.¹⁵⁻¹⁷ 특히 새롭게 개발된 Cone Beam Computed Tomography (CBCT)는 한번의 회전을 통해서 원하는 볼륨 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있으며 두경부의 어떤 부분도 모든 각도로 표현가능한 3차원적 실제 영상을 제공한다는 점에서 일반 나선형 회전식 CT와 스캔 모드에서 차이가 있다.

그러나 한 스캐너의 정량적 골밀도 평가체계는 모든 종류의 CT 스캐너에 동일하게 적용되지 않으며 Hounsfield scale은 사용된 CT 스캐너에 따라서 변화한다. 최근 다양한 제품의 콘빔 (Cone Beam) CT가 개발되어 그 각각에서 규격화된 HU값으로부터 골질 평가가 가능한 체계가 필요하며 이러한 볼륨데이터로부터 얻어진 결과를 치과 임상에 적용 가능한 전환점이 될 수 있는 진단영상으로 소개하고 있다.^{18,19}

따라서 본 연구에서는 콘빔CT로 촬영된 환자의 구치부 임플란트 매식체 식립부위에서 술전 골밀도와 임플란트 보철수복 후 골밀도 범위를 V-Implant 2.0TM 소프트웨어를 통해 Hounsfield index에 기초하여 정량적으로 측정해보고 골이식 여부에 따라 골밀도의 변화에 대한 유의성을 평가하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2006년 조선대학교 치과병원에 내원하여 콘빔CT 검사를 받은 환자 가운데, 상악구치 임플란트 보철 제작 후 6개월

Table 1. Classification of groups

Group	Specimen No.	Implant treatment
1	20	With bone graft
2	16	Without bone graft



Fig. 1. CBMercuryRayTM.

에서 1년 경과한 15명을 연구대상으로 하여 1군에서는 골이식을 시행한 6명의 환자에서 20부위와 2군에서는 골이식을 시행하지 않은 9명의 환자에서 16부위를 선택하였다 (Table 1).

2. 연구방법

1) 콘빔CT 촬영

촬영장치로는 CBMercuryRayTM (HITACHI Co., Tokyo, Japan)를 이용하였다. 촬영 조건은 관전압 120 kVp, 관전류 15 mA, 노출시간 9.8초로 하여 영상을 얻었으며 획득된 모든 데이터는 CBWorksTM 소프트웨어 (HITACHI Co., Tokyo, Japan)에서 DICOM 3.0 형식을 갖춘 512매의 횡단면 영상으로 재구성하여 별도의 저장장치에 저장하였다 (Fig. 1).

이러한 조사야(Field of View, FOV) 약 150 mm의 볼륨데이터를 삼차원 영상분석 및 다면영상 재구성용 V-Implant 2.0TM (CyberMed Inc., Seoul, Korea) 소프트웨어를 이용하여 개인용 컴퓨터 상에서 재구성하여 분석하였다.

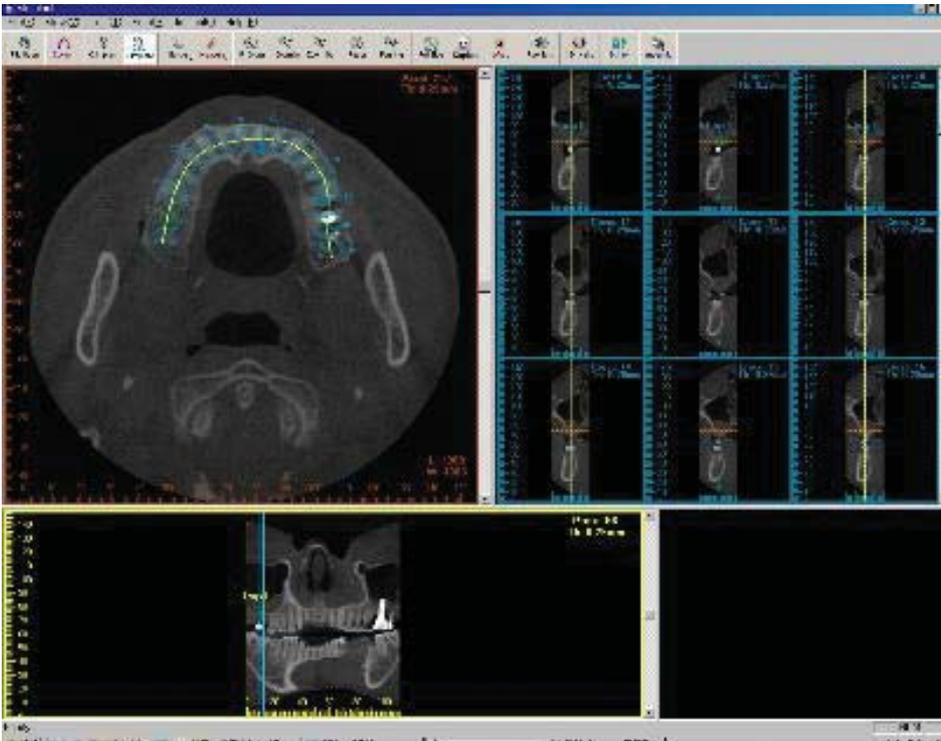


Fig. 2. A simulation of implant on the axial view, the sagittal view and the panoramic view by using V-Implant 2.0™.

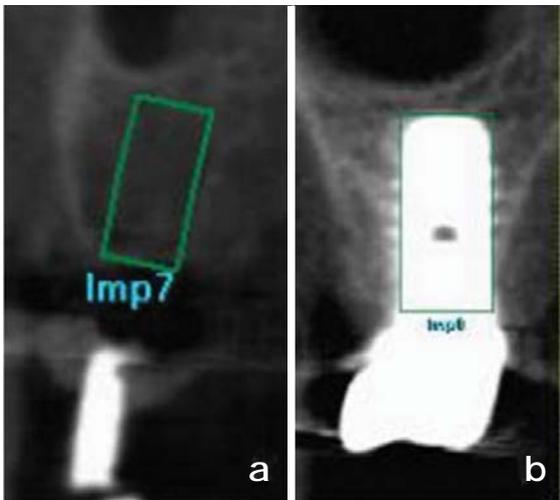


Fig. 3. Cross sectional CT image of the designated implant site. A: virtual image of implant, B: true image of implant

2) 가상 임플란트 식립 및 방사선적 평가

상악구치 임플란트 식립을 위해 촬영된 영상을 가상 임플란트 식립 프로그램인 V-Implant 2.0™을 이용하여 축단면 상에서 악궁을 따라 설정한 기준선에 맞추어 그려 펼쳐 놓은 절단면 영상(cross-sectional view)과 파노라마 영상(panoramic view)을 통해 정확한 식립 부위를 결정하였다(Fig. 2).

그 후, 선택한 영상 부위에 식립한 임플란트 단면 중 가

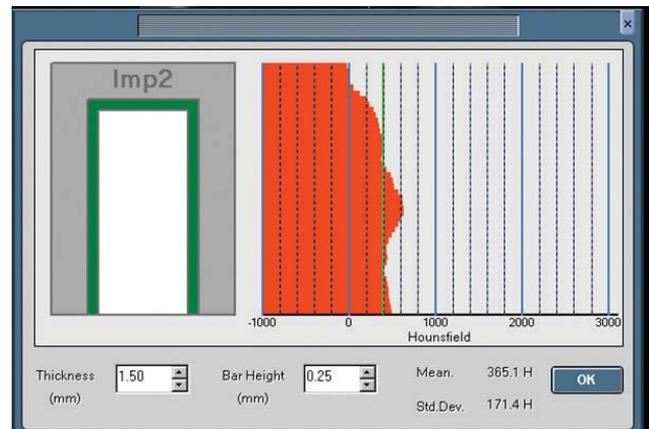


Fig. 4. The bone density measurement feature of the V-Implant 2.0™ was utilized to evaluate bone quality 1.5 mm circumferentially around the length of a simulated implant.

장 정확한 부위를 찾아 실제 식립한 임플란트의 길이 및 직경을 측정하고 식립전 영상에 그와 동일한 크기의 임플란트를 가상 식립하였다(Fig. 3).

3) HU의 측정

프로그램을 이용하여 실제 식립한 부위와 가상식립한 식립전 부위에 대하여 식립한 임플란트의 직경 및 길이를 입력하고 HU를 정량적으로 측정하였다. 이어 임플란트 매식체 주위의 골조직에 대해 객관적인 골밀도로서 HU의 평균치를 측정하였다(Fig. 4).

Table 2. HU data for bone graft and without bone graft groups

	Group 1 (bone graft)				Group 2 (without bone graft)			
	Before		After		Before		After	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	-26.9	114	743.5	386.7	95.8	77.1	293.6	179.6
2	61.5	185.6	713.9	471.6	25.5	75.7	420.8	307
3	-236.8	324	347.8	300	84.6	44.5	472.3	195.3
4	-300	298.8	287	304	44.4	51.5	527.3	313.7
5	-338.1	158.5	213	136.3	-22	25.3	219.3	213.6
6	-234.8	62.3	786.3	268.9	66.9	58	390.7	355.5
7	-99.2	127.4	210.3	164.9	165	46.7	412	156
8	-230	189.7	248.5	324.7	50.5	40.6	404.3	149.7
9	-41.4	40.6	214.4	83.3	-29.4	30.7	429	320
10	-56	115.2	458.2	158.8	131.7	78	315.8	82.3
11	-325.8	105.1	239.2	245.1	132.1	155.2	321	109.4
12	-75.5	189	582.6	273.3	127	67.5	378.7	150.9
13	-50	99.1	453.6	278.6	80.8	50.1	293.6	180
14	106.9	61.6	244.5	80.5	60.9	27	207.1	130.8
15	-312	101	201.2	164.7	-27.7	30.1	200.9	80.9
16	-216.7	197	221.4	279.5	15.4	20.9	198.7	157.3
17	-399.6	249.1	424.1	135.1				
18	-173.1	75.8	365.1	171.4				
19	-57	114	358.2	98.8				
20	-150.4	87.5	308	169				

SD: Standard deviation

4) 통계처리

상악동 내에 골이식을 시행한 그룹(Group 1)과 골이식을 시행하지 않은 그룹(Group 2) 간에 식립 전에 비해 보철물 제작 후 골밀도 증가에 대한 유의성 평가를 시행하였으며 통계처리 방법은 $\alpha=0.05$ 유의수준에서 Mann-Whitney U-test 및 Wilcoxon Matched pairs test를 이용하였다.

결 과

상악구치부에 임플란트를 식립할 때 골이식을 시행한 환자 9명에서는 20부위 (Group 1), 골이식을 시행하지 않은 환자 6명에서는 16부위 (Group 2)를 채택하여 각각의 그룹에서 임플란트 식립 전(before), 임플란트 기능 후(after)로 나누어 측정된 골밀도 수치(HU)의 평균 및 표준 편차를 도표화하였다(Table 2, Fig. 5).

임플란트 식립 전과 식립하여 기능 후에 골밀도를 비교하였을 때 골이식을 시행한 1군에서 임플란트 식립전 골밀도가 현저히 낮음을 알 수 있으며, 임플란트를 식립하여 기능 후 골밀도 수치가 현저히 개선되었음을 보여주었다(Table 3).

Mann-Whitney U test를 통한 통계분석을 통해 1군 및 2군 모두에서 임플란트 식립 전에 비해 임플란트를 식립하여 보철물 기능 후에 골밀도가 증가된 것을 알 수 있으며

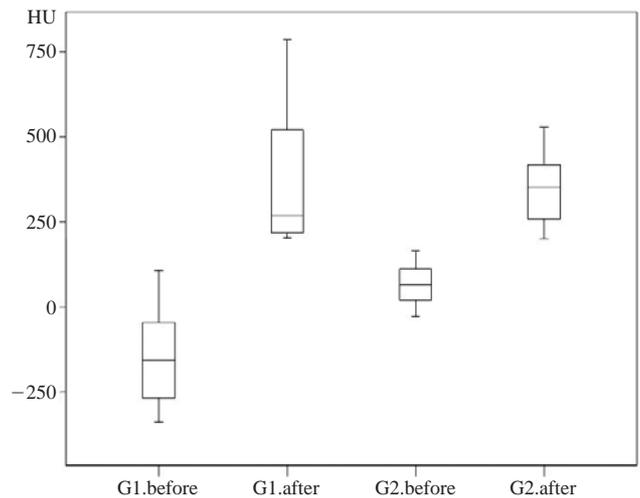


Fig. 5. Box-Whisker plot for groups according to before and after implantation.

통계적으로도 매우 유의성있게 나타났다 ($p < 0.0001$) (Fig. 5).

또한 상악동 내에 골이식을 시행하고 임플란트를 식립한 1군에서는 골밀도 수치가 비교적 넓은 범위에 분포되어 나타났으며, 임플란트 식립 전에 비해 식립하여 보철물 기능 후에 더욱 두드러진 결과를 보였다(Fig. 5).

임플란트 식립 전과 비교하여 식립하여 보철물 기능 6

Table 3. Descriptive statistics

	G1.before	G1.after	Diff.G1	G2.before	G2.after	Diff.G2
N Valid	20	20	20	16	16	16
Mean	-157.75	381.04	538.79	62.59	342.82	280.23
Median	-161.75	327.90	526.20	63.90	349.85	244.15
SD	140.59	188.55	196.21	60.02	102.34	105.61
Percent 25	-284.20	225.85	443.18	17.93	237.88	191.13
50	-161.75	327.90	526.2	63.90	349.85	244.15
75	-51.50	457.05	636.05	119.20	418.60	379.23

SD: Standard deviation

개월 이후, HU 수치 차이를 나타내는 Diff. G1 (after-before) 및 Diff. G2 (after-before)에서 상악동내 골이식을 시행한 Diff. G1에서 현저한 골밀도의 증가를 보였으며, 상악동내 골이식을 시행하지 않은 Diff. G2에서도 골밀도는 증가하였다. 이러한 결과는 Wilcoxon matched pairs test를 이용한 통계분석에서도 매우 유의성있게 나타났다 ($p < 0.0001$).

총괄 및 고안

임플란트 치료계획을 설정하는 데 있어 술전 골밀도 평가는 필요한 과정이며 안정적인 외과적 수술을 위해서도 정확하고 정량적인 방사선적인 검사가 요구된다. CT가 보급되기 이전부터 사용하고 있는 파노라마나 구강내 혹은 구강의 두개부 사진이 임플란트의 치료계획을 설정하는 데 이용되었으나 이는 악골의 협설두께를 측정하는 것이 어렵고²⁰ 임플란트를 식립하기에 치조골의 두께가 적절한지의 여부는 임상적인 판단에 의존할 수 밖에 없었다. 그러므로 임플란트 환자에서 술전 골밀도 평가를 위해 CT의 효용성에 관한 치과 임상분야의 연구가 활발히 이루어지기 시작했다.²¹

최근 개발된 콘빔CT의 한 종류인 CBMercuryRay™는 기존의 일반 전산화 단층영상보다 해상도가 10배나 높고 방사선 노출이나 촬영시간을 단축시킬 수 있다는 점에서 임상적으로 유용하며, 본 연구에서와 같이 콘빔CT의 볼륨데이터를 얻기 위해 고안된 Simplant™, V-Implant 2.0™ 등의 소프트웨어를 이용하면 임플란트 매식체 주위 골조직에 대한 간편한 골밀도 수치(HU)를 제공할 수 있다는 점에서 치과분야에서 효용 가치가 높다. 따라서 콘빔CT 상에서 임상적의 객관적인 평가를 내리는 것이 가능하게 되어 임플란트를 식립하기 전에 식립부위의 골밀도가 적절한지의 여부와 성공도를 예측하는 데 중요한 정보로서 활용될 수 있고 식립 후에 골밀도가 적절히 증가하는지의 여부를 통하여 임플란트 장기 예후를 판단하는 데도 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되어 골밀도를 나타내어 주는 HU를 CBMercuryRay™를 이용하여 측정하였다.

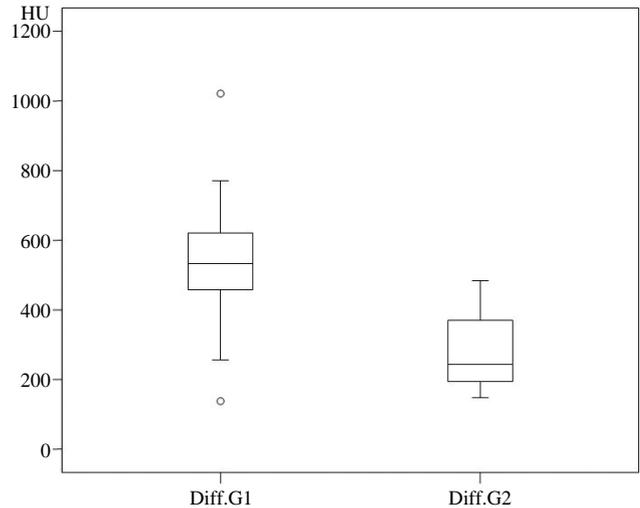


Fig. 6. Box-Whisker plot for difference between before and after implantation according to bone graft.

CT상에서 골밀도는 HU를 이용하여 측정하며 이는 조직의 X선 감쇄 계수와도 직접적으로 관련되어 있다. Hounsfield scale^{22,23}은 공기, 물, 치밀골 등의 밀도 측정에 기초하며 -1000, 0, +1000 등의 임의 수치로 평가된다.^{22,23} 또한 이 측정 방법을 사용하여 매우 치밀한 피질골(> 600 HU), 밀도 높은 피질-해면골(400-600 HU), 밀도 낮은 치밀 해면골(< 200 HU) 등을 포함한 여러 부위의 골에 해당하는 밀도를 계측할 수 있으며 임플란트 식립부위를 위한 골밀도 측정치를 통해 특정부위에 객관적인 자료로 이용가능하다.

Shahlaie 등²⁴의 연구보고에 따르면 62개의 임플란트를 9명의 사체에 식립하여 CT로 골밀도를 측정해 본 결과 18-1,265 HU의 범위를 나타내었고 평균치는 457 HU를 보였다.

또한, Goo 등²⁵은 CBMercuryRay™를 사용하되 V-Implant 2.0™을 이용하여 매식체를 가상 식립하고 환자의 상악 임플란트 식립체 주위 골조직을 평가하여 해면골에서는 4-541 HU의 수치를 보였다고 보고하였다. 여기에서 수치의 차이를 볼 때 사용된 기계나 평가한 면적의 차이에 따라 달라질 수 있음을 시사하고 있어 본 연구에서는 환자에게

식립된 임플란트의 길이, 직경을 고려하여 식립 전 촬영 영상에서도 실제 임플란트의 길이, 직경을 대입하는 가상 식립의 과정을 거쳐 골밀도를 측정하였다.

Shapurian 등²⁶은 상악 구치부의 평균 골밀도 수치를 측정하여 333 HU로 보고하였는데, 이에 비해 본 연구에서는 상악동내 골이식을 시행한 1군에서도 임플란트 식립 전보다 식립하여 기능 후에 -157 HU에서 381 HU로 밀도가 크게 증가되었으며 2군에서도 62 HU에서 342 HU로 증가하여 골이식의 여부에 상관없이 임플란트를 식립하여 기능한 후에 골밀도가 증가됨을 알 수 있었다(Fig. 6).

한편, 상악동내 골이식을 시행한 1군의 경우에는 임플란트를 식립하여 보철물을 장착한 후 기능을 통해 골질 분포가 매우 넓게 나타나는 것으로 보아 골이식술의 이식재 종류나 술식 또는 환자의 유지 능력도 시간이 경과한 후 나타나는 골질의 밀도에 영향을 주는 것으로 여겨지며, 향후 골이식재의 종류나 술식에 따른 골밀도의 비교를 통한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

상악동내 골이식의 유무에 따른 결과를 고찰해 보면, 상악동에서의 골이식을 시행한 경우에서 골이식을 시행하지 않은 경우에 비해 골밀도가 높게 나타남을 알 수 있으며 이는 골이식이 불량한 골질 개선에 매우 유용한 술식임을 알 수 있다(Fig. 6). 상악동내 골이식술에 대한 장기간의 평가를 하는 일차적인 방법은 이 부위의 임플란트 생존률을 보는 것이라고도 할 수 있는데, 문헌 상의 보고²⁷에 의하면 3년 이상 기능하고 있는 3,345개의 임플란트를 심은 1,007개 증례의 상악동내 골이식술에 대한 자료를 제공하였는데 장기간의 생존률은 90-97%의 범위를 보였으며 탈회동결건조골(Demineralized Freeze Dried Bone, DFDB)을 제외하고는 모든 재료에서 극히 높은 성공률을 보여 상악동 이식술의 높은 안정성을 반영하였다. 또한 임플란트 디자인이 생존률에 가장 중요한 요인이라고 하여 후속 연구로서 본 논문 실험에 사용된 임플란트의 디자인에 따른 분류를 통해 골밀도 HU 수치를 측정해 보는 것도 상당히 의미있을 것으로 사료된다.

특히, 본 연구에서 상악동내 골이식을 시행하지 않은 2군에서도 임플란트 식립 전보다 HU 수치가 유의성있게 증가하였으며 이로써 임플란트 매식체 주위로의 적절한 자극을 통해서 골밀도가 향상된다는 것임을 알 수 있었다(Fig. 5).

Turkylmaz 등²³의 연구에 의하면 젊은 연령층보다 나이가 든 연령층에서 골흡수와 재생을 통해 하악 전치 기저부의 피질골 형성이 두드러지게 이루어져 높은 골밀도 양상을 보이는 것으로 보아 향후 상악구치부 뿐만 아니라 다른 부위에서 임플란트를 식립하여 기능 후 임플란트 주위 골밀도 변화를 관찰하는 것도 임상적으로 의미있는 데이터를 제공해 줄 수 있을 것으로 생각되며, 나아가 연령이나 대합치 관계 및 발치 후 경과 기간 등의 인자를 구분지어

평가해 보는 것도 의미있으리라 사료된다.

결 론

콘빔CT 촬영 후, V-Implant 2.0™에 의한 Hounsfield index에 기초하여 상악동내 골이식의 유무에 따른 골밀도의 변화에 대한 유의성을 평가해 보고, 임플란트 식립 전과 식립하여 보철물을 완성하고 기능한 후에 골밀도를 측정하여 Mann-Whitney U test 및 Wilcoxon pairs test 통계분석을 통해 0.05 유의 수준에서 유의성을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상악 구치부에 골 이식을 시행한 1군에서 임플란트 식립 전에 비해 식립 후 보철물을 완성하여 기능을 통해 골밀도 수치(HU)가 유의성있게 현저히 증가되는 양상을 보였다($p < 0.05$).

2. 상악 구치부에 골 이식을 시행하지 않은 2군에서 임플란트 식립 전에 비해 보철물을 완성하여 기능을 통해 골밀도 수치(HU)가 유의성있게 증가되는 양상을 보였다($p < 0.05$).

3. 임플란트 식립 전과 식립 후 보철물을 완성하여 기능을 한 경우를 비교하여 골밀도 수치(HU) 차이를 분석해 본 결과, 골이식을 시행하지 않은 2군보다 골이식을 시행한 1군에서 통계적으로 유의성있게 증가된 골밀도 수치(HU)를 나타내었다($p < 0.05$).

4. 골이식을 시행한 1군에서 측정된 HU의 범위가 골이식을 시행하지 않은 2군보다 훨씬 더 넓게 분포되었으며 임플란트 식립 전보다 식립 후 보철물을 제작하여 기능한 후에 두드러지게 나타났다.

결론적으로, 상악동에서의 골이식을 시행한 경우에 골질이 현저히 개선되는 것을 알 수 있었으며 이는 상악동에서의 골이식이 불량한 골질 개선에 매우 유용한 술식임을 입증해 준다. 한편 골이식을 하지 않은 경우라도 식립전보다 HU index가 유의성있게 증가되는 것으로 보아 보철물의 기능을 통한 적절한 자극이 골질 개선에 긍정적 영향을 미치는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. Tissue Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry. Chicago: Quintessence; 1985. p. 39-42.
2. Beer A, Gahleitner A, Holm A, Homolka P. Correlation of insertion torques with bone mineral density from dental quantitative CT in the mandible. Clin Oral Implants Res 2003; 14 : 616-20.
3. Matsue I, Zimmermann ER, Collins 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.
4. Katoh T, Shimada K, Chiba M, Kobayashi T. The basic study on bone

- mineral assessment with dual energy radiographic densitometry method. *Oral Radiol* 1978; 18 : 278-95.
5. Ishigaki T, Sakuma S, Horikawa Y, Yamaguchi H. One-shot dual energy subtraction imaging. *Radiology* 1986; 161 : 271-3.
 6. 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.
 7. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol* 1973; 46 : 1016-22.
 8. Schwarz MS, Rothman SLG, Rhodes ML, Chafes N. Computed tomography: Part I. Preoperative assessment of the mandible for endosseous implant surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987; 2 : 137-41.
 9. Schwarz MS, Rothman SLG, Rhodes ML, Chafes N. Computed tomography: Part II. Preoperative assessment of the mandible for endosseous implant surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987; 2 : 143-8.
 10. 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.
 11. Robertson DD, Huang KH. Quantitative bone measurements using X-ray computed tomography with second-order correction. *Med Phys* 1986; 13 : 474-9.
 12. 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.
 13. 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.
 14. Fanuscu MI, Chang TL. Three-dimensional morphometric analysis of human cadaver bone; microstructural data from maxilla and mandible. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15 : 213-8.
 15. Honma K, Kobayashi T, Nakajima T, Hayahi T. Computed tomographic evaluation of bone formation after secondary bone grafting of alveolar clefts. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57 : 1209-13.
 16. Naitoh M, Katsumata A, Kubota Y, Arkji E. Assessment of three-dimensional x-ray images; reconstruction from conventional tomograms, compact computerized tomography images, and multislice helical computerized tomography images. *J Oral Implantol* 2005; 31 : 234-41.
 17. Ganz SD. Presurgical with CT-derived fabrication of surgical guides. *J Oral Maxillofac Surg* 2005; 63 : 59-71.
 18. Ari Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 245-8.
 19. Hashimoto K, Kawashima S, Araki M, Iwai K, Sawada K, Akiyama Y. Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. *J Oral Sci* 2006; 48 : 27-34.
 20. Frederiksen NL. Diagnostic imaging in dental implantology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 80 : 540-54.
 21. Wyatt CC, Pharoah MJ. Imaging techniques and image interpretation for dental implant treatment. *Int J Prosthodont* 1998; 11 : 442-52.
 22. Tannaz S, Petros DD, Gary MR, Terrence JG, William MR. Quantitative evaluation of bone density using the Hounsfield index. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21 : 290-7.
 23. Turkyilmaz I, Tözüm TF, Tümer C. Bone density assessment of oral implant sites using computerized tomography. *Journal of Oral Rehabilitation* 2007; 34 : 267-72.
 24. 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.
 25. Goo JG, Kim HS, Kim JD. Quantitative assessment of periimplant bone density (HU) on CBCT image. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2008; 38 : 1-5.
 26. 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.
 27. Consensus statement, Academy of osseointegration sinus graft conference, The center for executive education, Babson college, Wellesley, MA, 1996; Nov. 16-7.