

임플란트 식립 부위의 골밀도 평가에 관한 연구

박수원¹ · 장수미¹ · 최병환¹ · 손한나¹ · 박봉찬¹ · 김창환¹ · 손장호¹ · 성일용¹ · 이지호² · 조영철¹

¹울산대학교 의과대학 울산대학병원 구강악안면외과학교실, ²울산대학교 의과대학 산업의학과

Abstract (J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg 2010;36:417-22)

The study of bone density assessment on dental implant sites

Su-Won Park¹, Soo-Mi Jang¹, Byoung-Hwan Choi¹, Han-Na Son¹, Bong-chan Park¹,
Chang-Hwan Kim¹, Jang-Ho Son¹, Iel-Yong Sung¹, Ji-Ho Lee², Yeong-Cheol Cho¹

¹Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Ulsan University Hospital, College of Medicine, University of Ulsan, Ulsan, Korea

²Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, University of Ulsan, Ulsan, Korea

Introduction: Bone density is one of the important factors for the long term success of endosseous implants. The bone density varies from site to site and from patient to patient. A preoperative evaluation of the bone density is quite useful to oral surgeons for planning dental implantation. More accurate information on the bone density will help surgeons identify suitable implant sites, thereby increase the success rate of dental implantation.

This study examined the correlation between the bone density measured preoperatively by computed tomography (CT) and the implant primary stability measured by resonance frequency analysis. Furthermore, the effects of the implant sites, gender, age and generalized systemic disorder patients on the bone density and primary implant stability were examined.

Materials and Methods: One hundred and fourteen patients were selected. None of the patients had undergone a tooth extraction or bone graft history in the previous year. Preoperatively, the patients underwent CT scanning to evaluate the Hounsfield unit (HU), and resonance frequency analysis (RFA) was used to evaluate the implant primary stability at the time of implant installation. All implants were 4.0 mm diameter and 11.5 mm length US II. All patients were recorded and the HU and implant stability quotient (ISQ) value were evaluated according to the sites, gender and age.

Results: The highest HU values were found in the mandibular anterior site (827.6 ± 151.4), followed by the mandibular molar site (797 ± 135.1), mandibular premolar site (753.8 ± 171.2), maxillary anterior site (726.3 ± 154.4), maxillary premolar site (656.7 ± 173.8) and maxillary molar site (621.5 ± 164.9). The ISQ value was the highest in the mandibular premolar site (81.5 ± 2.4) followed by the mandibular molar site (80.0 ± 5.7), maxillary anterior site (77.4 ± 4.1), mandibular anterior site (76.4 ± 11.9), maxillary premolar site (74.2 ± 14.3) and maxillary molar site (73.7 ± 7.4).

The mean HU and ISQ value were similar in females and males. (HU: $P=0.331$, ISQ: $P=0.595$) No significant difference was also found in the age group respectively. However, the correlation coefficients between the variables showed a closed correlation between the HU and ISQ value.

Conclusion: These results showed close correlation between the bone density (HU) and primary stability value (ISQ) at the time of implant installation (Correlation coefficients=0.497, $P<0.01$).

These results strengthen the hypothesis that it might be possible to predict and quantify the initial implant stability and bone density from a presurgical CT diagnosis.

Key words: Bone density, Hounsfield unit (HU), Implant Stability Quotient (ISQ), Dental implants, Osseointegration

[paper submitted 2010. 7. 14 / revised 2010. 10. 20 / accepted 2010. 10. 22]

I. 서 론

조영철

682-714 울산광역시 동구 전하동 290-3

울산대학교 의과대학 울산대학병원 치과 구강악안면외과학교실

Yeong-Cheol Cho

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Ulsan University Hospital,
College of Medicine, University of Ulsan

290-3 Jeonha-dong, Dong-gu, Ulsan 682-714 Korea

Tel: +82-52-250-7230 Fax: +82-52-250-7236

E-mail: lovenip@mail.ulsan.ac.kr

최근 치과 임플란트는 무치악 부위의 상실된 치아를 대체할 수 있는 가장 좋은 방법으로 여겨지고 있어 많은 환자들이 선호하는 악기능재건방법이다.

임플란트의 성공률은 환자의 전신적 건강상태, 임플란트의 디자인과 재료의 생체적합성, 술자의 술식, 골의 질과 양 등 여러 가지 요인에 의해 달라질 수 있다¹. 이런 여러 가지 요인으로 인해 실패하는 경우가 있는 만큼 실패율을 최

소화 하고자 하는 노력이 필요하다. 임플란트 성공률에 가장 중요한 요인 중의 하나가 바로 골량(bone quantity)과 골질(bone quality)이라고 생각한다. 골량은 임플란트 식립 시 유용한 골의 양을 나타내고, 골질은 골의 생리, 광화작용의 정도 등 다양한 면을 종합적으로 평가하는 용어이다². Lekholm과 Zarb³는 방사선학적으로 피질골과 해면골의 양을 비교하여 4가지 형태로 골질을 분류하였고 더 나아가 1993년 Misch⁴는 drilling 시 술자가 느끼는 감각에 따라 4가지 골질로 분류하였다. 2001년 Norton과 Gamble⁵는 골밀도 분석에 computed tomography (CT)를 이용하여 객관적으로 골질의 분류를 시도하였다. 또한 2007년 Turkeyilmaz 등¹도 악골 부위를 하악전치부, 하악구치부, 상악전치부, 상악구치부 이렇게 4부위로 나누고 CT를 이용하여 각 부위의 골질을 Hounsfield unit (HU)로 평가하여 보고하였다. CT를 이용하면 임플란트 예상 식립 부위의 골량과 위치를 알 수 있게 해줄 뿐만 아니라 HU값을 이용하여 골밀도도 측정할 수 있다. Hounsfield scale은 공기, 물, 치밀골을 기준으로 하고 있으며 각각 -1,000, 0, +1,000이다⁶. 물론 밀도에 따라 -1,000에서 +3,000까지 다양하게 나타날 수 있다. Fanuscu와 Chang⁷은 사체의 상, 하악치조골에서 HU값을 측정하여 골밀도를 조사한 결과 하악에서 51-52 HU, 상악에서 186-38 HU의 값을 보였다고 보고하였고, Martinez 등⁸은 악골에서는 일반적으로 치밀골일 때는 HU값이 600 HU 이상, 해면골일 때는 200 HU 이하로 나타난다고 보고하였지만 이것은 측정에 사용된 CT 종류에 따라 다르게 나타날 수 있으리라고 생각한다. 임플란트 식립 부위에 충분한 골량과 좋은 골질을 가진 경우 성공률은 그만큼 높아진다. 그러나 모든 환자들이 이러한 좋은 골상태를 가지고 있지 않은 만큼 각각의 경우에 따라 골이식 등의 추가적인 시술을 선택해야 한다.

임플란트 식립 후 성공여부를 결정하는 또 다른 요인 중의 하나가 바로 임플란트의 초기 고정성이라 할 수 있다. 이 초기 고정성은 식립 부위의 골밀도와 상당히 관련이 깊고 임플란트를 식립 후 임플란트 매식체와 주위골과의 적합성을 측정함으로써 어느 정도 예측이 가능하다. Meredith 등⁹은 공명주파수분석(resonance frequency analysis)을 이용하여 매식체와 주위골과의 적합성을 측정하였다. 공명주파수분석은 임플란트 식립의 초기 고정성을 측정할 수 있을 뿐 아니라 임플란트의 성공여부를 주기적으로 측정할 수 있는 좋은 방법이다. 골질과 임플란트 안정성의 상관관계를 조사한 Turkeyilmaz 등¹⁰은 HU가 낮은 경우에 implant stability quotient (ISQ)도 역시 낮은 것으로 보고하였다.

본 연구는 임플란트 수술 전 CT를 이용하여 식립 부위의 골밀도를 HU 스케일로 측정하고, 식립 부위별, 성별, 나이 별로 HU값 및 ISQ값을 비교분석 하였다. 그리고 부위별 HU값과 식립 후 즉시 각 임플란트의 ISQ값을 측정 후 이틀 변수간의 상관관계에 대해 연구하였다.

Ⅱ. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

2008년 3월부터 2008년 9월까지 6개월 동안 울산대학교 병원 구강악안면외과에서 임플란트를 식립한 환자 114명을 대상으로 하였다.

성별분포는 남자 66명, 여자 48명이었으며, 연령분포는 30대 이하 20명, 40대 19명, 50대 56명, 60대 이상 19명이였다.(Table 1) 식립 부위별 분포는 상악전치부가 14명, 상악소구치부 14명, 상악구치부 23명, 하악전치부 8명, 하악소구치부 12명, 하악대구치부 43명이였다.

2. 연구방법

1) 환자의 구분

연구의 표준성을 위해 최근 1년 동안 발치한 적이 없고 골이식 등의 추가적인 시술을 받지 않은 환자들을 대상으로 하였다. 골밀도를 측정하기 위해 악골을 상악전치부(Zone 1), 상악소구치부(Zone 2), 상악구치부(Zone 3), 하악전치부(Zone 4), 하악소구치부(Zone 5), 하악구치부(Zone 6) 6부분으로 나누었다. 임플란트 재료는 직경 4.0 mm, 길이 11.5 mm US II (Osstem Implant Co., Seoul, Korea)로 통일하였다. 술전에 만든 수술용 스텐트를 이용하여 전산화단층촬영영상을 채득하고, 통상의 임플란트 식립 과정을 거쳐서 임플란트를 식립하였으며, 모든 시술은 동일한 구강악안면외과의사에 의해 이루어졌다.

2) HU 측정

시술대상 환자들은 미리 술전에 수술용 스텐트를 장착하고 CT 영상을 채득하였다. 사용한 CT는 울산대학교병원 영상의학과 Somatom CT (Zimmer, Munich, Germany)를 사용하였고 노출시간은 4초이고 절단편 두께는 0.75 mm이다. CT 상의 시상면에서 스텐트를 기준으로 중앙 부위에 식립한 임플란트 규격에 맞게 region of interest (ROI)를 정하여 HU값을 측정하였고, 실험의 정확성을 위해 2명이 측정한 값을 구하여 평균값을 HU 측정치로 정하였다.(Fig. 1)

3) 공명주파수 분석

공명주파수분석을 위해 Osstell mentor (Integration

Table 1. General characteristics of subjects

	Age groups				Total
	<30 years	40 years	50 years	>60 years	
Male	13 (65.0)	8 (42.1)	40 (71.4)	5 (26.3)	66 (57.9)
Female	7 (35.0)	11 (57.9)	16 (28.6)	14 (73.7)	48 (42.1)
Total	20	19	56	19	114 (100%)

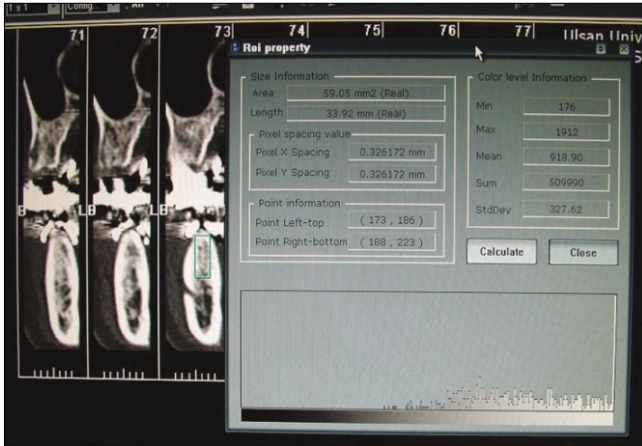


Fig. 1. Image of transaxial cut of Somatom computed tomography (CT).
The hounsfield unit (HU) measurement feature of CT was utilized to evaluate the bone density.

Table 2. Comparisons of Hounsfield unit (HU) and implant stability quotient (ISQ) between sex

	No	HU	ISQ
Male	66	746.6 ± 150.6	77.3 ± 7.9
Female	48	715.6 ± 188.8	78.1 ± 8.5
<i>P</i> value ¹		0.331	0.595

(No: number of patients, 1: *P* value was taken by t-test)

Diagnostics AB., Göteborg, Sweden)를 사용하여 implant ISQ 값을 측정하였다. ISQ값은 골과 임플란트 매식체와의 결합력을 나타내어 골과 임플란트의 초기 고정성을 평가해 줄 수 있다. 일반적으로 ISQ값은 1-100 사이로 측정되며 평균 70정도로 측정된다. 임플란트를 식립하고 매식체의 4군데(협측, 설측, 근심측, 원심측)의 ISQ값을 측정하여 그 평균값을 각각 임플란트 식립 부위의 ISQ값으로 정하였다.(Fig. 2)

4) 분석방법

총 114명의 연구대상자에 대해 악골의 부위별 HU, ISQ값을 측정하였으며 성별, 나이별로 측정값을 분석하였다.

성별, 나이, 악골 부위별 HU, ISQ값 차이를 분석하기 위해 t-test와 ANOVA를 실시하였고, 나이, HU, ISQ값 사이의 관련성 여부를 파악하기 위해 상관분석을 실시하였다.

Ⅲ. 결 과

1. HU 측정

총 114명의 환자를 대상으로 HU값을 측정한 결과 남자가 746.6 ± 150.6, 여자가 715.6 ± 188.8로 나타났고, (Table 2) 연령별로는 30대 이하에서 767.5 ± 142.8로 제일 높은 것으로 나타났으며 연령이 증가할수록 HU값은 감소하는 경향



Fig. 2. Osstell mentor to measure implant stability quotient (ISQ) value.

Table 3. Results of ANOVA for Hounsfield unit (HU) and implant

	No	HU	ISQ
<30 years	20	767.5 ± 142.8	79.5 ± 4.8
40 years	19	758.1 ± 202.9	78.6 ± 6.4
50 years	56	730.0 ± 161.3	77.2 ± 8.4
>60 years	19	683.7 ± 172.3	75.8 ± 11.1
<i>P</i> value ¹		0.407	0.506

(No: number of patients, 1: *P* value was taken by ANOVA)

을 나타내었다.(Table 3) 임플란트 식립 부위에 따른 HU값은 하악전치부가 827.6 ± 151.4로 제일 높게 나타났고 그 다음은 하악구치부(797.7 ± 135.1), 하악소구치부(753.8 ± 171.2), 상악전치부(726.3 ± 154.4), 상악소구치부(656.7 ± 173.8), 상악구치부(621.5 ± 164.9)순이었다.(Table 4)

2. ISQ 측정

공명주파수 측정에서는 남자가 77.3 ± 7.9, 여자가 78.1 ± 8.5로 나타났고, (Table 2) 연령별로는 30대 이하에서 79.5 ± 4.8로 제일 높게 나타났으며 연령이 증가할수록 ISQ값은 감소하는 경향을 나타내었다.(Table 3) 임플란트 식립 부위별로는 하악소구치부가 81.5 ± 2.4로 ISQ값이 가장 높게 나왔고 그 다음이 하악구치부(80.0 ± 5.7), 상악전치부(77.4 ± 4.1), 하악전치부(76.4 ± 11.9), 상악소구치부(74.2 ± 14.3), 상악구치부(73.7 ± 7.4) 순으로 나타났다.(Table 4, *P* = 0.011)

3. 주요 변수들간 비교결과

성별, 나이별 HU값과 ISQ값의 차이를 비교한 결과 통계학적으로 유의성 있는 결과를 얻지는 못했다. 악골 부위별 검사에서는 부위별로 측정한 HU값과 ISQ값이 완전히 일치되는 것은 아니었지만, 본 연구의 목적인 술전에 CT를

Table 4. Results of ANOVA for Hounsfield unit (HU) and implant

	No	HU	ISQ
Zone 1	14	726.3±154.4	77.4±4.1
Zone 2	14	656.7±173.8	74.2±14.3
Zone 3	23	621.5±164.9	73.7±7.4
Zone 4	8	827.6±151.4	76.4±11.9
Zone 5	12	753.8±171.2	81.5±2.4
Zone 6	43	797.7±135.1	80.0±5.7
P value ¹		0	0.011

(No: number of patients, Zone 1: maxillary anterior, Zone 2: maxillary premolar, Zone 3: maxillary molar, Zone 4: mandibular anterior, Zone 5: mandibular premolar, Zone 6: mandibular molar, 1: P value was taken by ANOVA)

촬영한 후 골밀도를 미리 예측해 보는 것이 어느 정도 효용성이 있는지를 검사해 보기 위해 성별, 나이 등의 변수들을 통제한 상태에서 HU값과 ISQ값의 편상관분석을 해본 결과 $R=0.497$ ($P<0.01$)로 통계학적으로 의미 있는 결과가 나왔다.(Table 5)

Ⅳ. 고 찰

불량한 골질에서 임플란트 실패율이 높다고 많은 문헌에서 보고하고 있다^{2,11,12}. 이러한 이유로 수술 전 골질을 평가한 후 수술에 임함으로써 임플란트의 성공률을 더욱 높일 수 있다고 생각한다. 많은 저자들이 임플란트 성공률을 높이기 위해 노력해 왔으며, 특히 임플란트 성공률에 임플란트의 초기 고정성이 매우 중요하다고 하였다¹². 초기 고정성을 얻는데 중요한 요인으로는 임플란트 매식체의 디자인과 표면구조, 식립과정, 골량과 골밀도를 생각할 수 있다². 그 중 가장 중요한 요인 중의 하나가 골밀도이다. 과거에는 단순 방사선사진만으로도 골량과 골질을 판단하여 좋은 결과를 얻을 수 있었지만, 좀 더 높은 성공률을 위해서는 CT를 이용해서 보다 정확한 골질과 골량을 분석한 후 수술에 임함으로써 좀 더 양호한 결과를 얻을 수 있으리라고 생각한다. 무엇보다도 CT를 이용하여 HU값을 직접적으로 측정함으로써 보다 정확하고 믿을만한 골질을 예측할 수 있다는 큰 장점이 있다.

1995년에 Hounsfield⁶는 computerized transverse axial scanning을 이용하여 치밀골과 해면골의 상대적인 분포 정도를 파악하는 방법을 제시하였으며 HU값으로 조직의 attenuation coefficients를 직접적으로 측정할 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 부위별 HU값의 평균치는 하악전치부(827.6 ± 151.4)>하악구치부(797.7 ± 135.1)>하악소구치부(753.8 ± 171.2)>상악전치부(726.3 ± 154.4)>상악소구치부(656.7 ± 173.8)>상악구치부(621.5 ± 164.9) 순서로 나타났으

Table 5. Partial correlation coefficients between the variables

	ISQ	HU
ISQ	(-)	0.497*
HU	0.497*	(-)
Age	-0.104	-0.125

(HU: Hounsfield unit, ISQ: implant stability quotient, *: $P<0.01$, adjusted by sex and systemic diseases)

나, 악골의 부위별로 나누어 조사한 Turkyilmaz 등¹의 논문에서는 HU값의 평균치가 하악전치부(944.9)>상악전치부(715.8)>하악구치부(674.3)>상악구치부(455.1)의 순서를 보여주고 있다.

Shapurian 등¹³은 101명의 환자를 대상으로 연구한 결과 하악전치부(912 ± 238)>상악전치부(517 ± 177)>상악구치부(333 ± 199)>하악구치부(321 ± 131)순으로 보고하였고 HU값과 type 4 골질에서의 관계가 가장 유의할만 하다고 밝혔다. 각 논문마다 부위별로 HU값이 다르게 나타나는데 그 이유는 아마도 사용된 CT 종류가 다르고 식립 부위, 환자의 연령, 성별 등의 분포가 다르기 때문일 것으로 생각된다. Shahlaie 등¹⁴은 사체를 대상으로 골밀도 연구를 하였는데 9구의 사체에서 62개의 임플란트 식립 부위를 조사한 결과 18-1,265 HU 범위의 골밀도가 나타났다고 보고하였다. Norton과 Gamble⁵의 연구에서는 32개의 CT 영상을 대상으로 HU값을 이용하여 골질을 평가하였다. 가상 임플란트 주변 1 mm의 골질을 평가하였으며 HU값은 77에서 1,421까지 나타났으며 전치부와 구치부 사이에 큰 차이는 없었다고 보고하였다. 상악과 하악의 피질골과 해면골의 HU를 평가한 Park 등¹⁵의 논문에서 상악은 견치와 소구치 부위에서 가장 높고 상악결절 부위에서 가장 낮은 골밀도를 나타냈으며 하악에서의 HU값이 상악보다 높게 나타났고 하악전치 부위에서 후구치 부위로 갈수록 높게 나타났다고 보고하였다. Bassi 등¹⁶은 골의 흡수에 따른 골밀도를 조사하였는데, 무치악보다 치아가 있는 부위에서 그리고 여성보다 남성에서 골밀도가 높다고 밝혔다. 그러나 흡수된 비율과 골밀도와는 상관관계가 없는 것으로 보고하였다.

Lee 등¹⁷은 삽입토크와 HU값 사이에는 높은 상관관계가 있으며 drilling 시 골밀도를 구별하기 위해서는 180 HU 이상의 차이가 있어야 한다고 하였다. 1996년 Fanfani와 Pierazzini¹⁸는 CT 상에서 HU값을 이용하여 골밀도를 분석

하였는데 골조직에서는 100-1,900 HU까지 나올 수 있는데, type IV에서는 100-350 HU, type III에서는 350-700 HU, type II에서는 700-1,200 HU, type I에서는 1,200-1,900 HU 정도에 해당된다고 보고하였다. 이런 연구논문들을 보더라도 CT를 이용한 술전 환자의 골밀도분석이 어느 정도 예지성이 있는 것으로 보여진다.

그 외에 본 연구에서는 CT를 이용해서 수술 전에 평가한 골밀도와 상관계수를 분석해 보기 위해 임플란트를 식립 후 초기 고정성을 평가할 수 있는 방법 중의 하나인 Osstell mentor를 사용하여 공명주파수를 분석하여 ISQ를 측정하였다. 일반적으로 ISQ는 1-100사이로 측정되며 평균 70정도로 측정된다. Turkyilmaz 등¹⁰은 공명주파수분석의 ISQ와 임플란트 식립 시 토크가 상관관계가 있으며 또한 골밀도와도 밀접한 상관관계가 있다고 보고하였다. 2006년 Ostman 등¹⁹은 905개의 Brånemark 임플란트를 식립한 후 곧바로 ISQ값을 측정한 결과 평균 67.4 (SD 8.6)가 나왔으며 역시 여성에서보다 남성이, 상악에서보다 하악에서, 전치부보다 구치부에서, 3.75 mm 굵기의 임플란트를 기준으로 가는 임플란트보다 굵은 임플란트에서 높았다고 보고하였다.

본 연구에서는 하악소구치부가 81.5 ± 2.4 로 ISQ값이 가장 높게 나왔고 그 다음으로 하악구치부(80.0 ± 5.7), 상악전치부(77.4 ± 4.1), 하악전치부(76.4 ± 11.9), 상악소구치부(74.2 ± 14.3), 상악구치부(73.7 ± 7.4)순으로 높았다. 연령별로는 30대 이하에서 역시 제일 높게 나왔으며 연령이 증가할수록 ISQ값은 감소하는 경향을 나타내었다. 큰 차이는 없지만 남성에서보다 여성에서 오히려 높게 나타났다.

본 연구의 통계학적 분석에서는 HU값으로 술전에 골질을 평가하여 술중에 측정한 ISQ값과의 상관계수가 0.497로 통계학적으로 유의한 상관관계가 있음을 보였으며 이는 술전 CT를 이용한 골질에 대한 평가가 어느 정도 예지성이 있음을 보여주었다. 그 외 성별이나 나이에 따른 통계학적으로 유의성 있는 결과는 나오지 않았다.

추후 더 많은 데이터를 통하여 HU값에 대한 기준치의 범위를 제시할 수 있는 연구가 필요하며, 술전 불량한 골질 부위에 임플란트 매식 시 골질의 회복을 위한 외과적 술식 후에 변화된 HU값 측정의 연구가 더 이루어지면 좋을 것으로 생각한다.

술전에 CT를 이용하여 HU값을 측정한 후 식립 예상 부위의 골밀도를 분석해 보는 것이 술자에게 식립 예상 부위의 결정 및 상태를 짐작하게 함으로써 임플란트 성공률을 높일 수 있는 좋은 방법으로 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 2008년 3월부터 2008년 9월까지 울산대학교병원 구강악안면외과에서 임플란트를 식립한 114명을 대상으로 술전 CT를 이용한 HU값으로 골질을 평가한 후 술중

에 기록한 ISQ값과 비교해 본 결과 유의할 만한 상관관계가 있는 것을 알 수 있었다. 통계학적으로 변수들간의 상관관계를 분석한 결과 성별과 나이에 따라서는 통계학적으로 유의성 있는 결과를 얻지 못했다.

본 연구의 목적인 술전에 CT를 촬영한 후 임플란트 식립 예정 부위의 골질을 미리 평가해보는 것이 어느 정도 효용성이 있는가를 평가해 보기 위해 변수들간의 상관분석을 해본 결과 HU값과 ISQ값 사이에 0.497 ($P < 0.01$)로 통계학적으로 의미 있는 결과가 나왔다. 이를 바탕으로 골질이 좋지 않은 부위에 임플란트 매식을 해야 하는 경우에는 술전에 CT를 이용해서 임플란트 식립 부위의 골질을 미리 예측한 후 시술을 하게 된다면, 골질이 좋지 못한 부위라도 골이식 등 부가적인 시술을 통해 임플란트 성공률에 향상을 가져올 수 있을 것으로 생각한다.

References

1. Turkyilmaz I, Tözüm TF, Tumer C. Bone density assessments of oral implant sites using computerized tomography. *J Oral Rehabil* 2007;34:267-72.
2. de Oliveira RC, Leles CR, Normanha LM, Lindh C, Ribeiro-Rotta RF. Assessments of trabecular bone density at implant sites on CT images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:231-8.
3. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In: Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T, eds. *Tissue integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence; 1985:199-209.
4. Misch C. Classifications and treatment options of the completely edentulous arch in implant dentistry. *Dent Today* 1990;9:26, 28-30.
5. Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:79-84.
6. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system 1973. *Br J Radiol* 1995;68: H166-72.
7. 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.
8. Martinez H, Davarpanah M, Missika P, Celletti R, Lazzara R. Optimal implant stabilization in low density bone. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:423-32.
9. Meredith N, Alleyne D, Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:261-7.
10. 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.
11. Turkyilmaz I, Tumer C, Ozbek EN, Tözüm TF. Assessment of correlation between computerized tomography values of bone, and maximum torque and resonance frequency values at dental implant placement. *J Oral Rehabil* 2006;33:881-8.
12. Sennerby L, Meredith N. Resonance frequency analysis: measuring implant stability and osseointegration. *Compend Contin Educ Dent* 1998;19:493-8, 500, 502; quiz 504.
13. 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.

14. 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.
15. Park HS, Lee YJ, Jeong SH, Kwon TG. Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:30-7.
16. Bassi F, Procchio M, Fava C, Schierano G, Preti G. Bone density in human dentate and edentulous mandible using computed tomography. *Clin Oral Implants Res* 1999;10:356-61.
17. 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.
18. Fanfani F, Pierazzini A. La tomografia assiale computerizzata del distretto maxillo-facciale, 3D-Dentascan e derivati. Torino, Italy: UTET Perioici; 1996.
19. Ostman PO, Hellman M, Wendelhag I, Sennnerby L. Resonance frequency analysis measurements of implants at placement surgery. *Int J Prosthodont* 2006;19:77-83; discussion 84.