

콘빔형 전산화단층영상을 이용한 치과임플란트 식립유도장치 개발

경희대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실
최형수 · 김규태 · 최용석 · 황의환

Surgical stent for dental implant using cone beam CT images

Hyung-Soo Choi, Gyu-Tae Kim, Yong-Suk Choi, Eui-Hwan Hwang
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Kyung Hee University

ABSTRACT

Purpose : The purpose of this study is to develop a surgical stent for dental implant procedure that can be easily applied and affordable by using cone beam computerized tomography (CBCT).

Materials and Methods : Aluminum, Teflon-PFA (perfluoroalkoxy), and acetal (polyoxymethylene plastic) were selected as materials for the surgical stent. Among these three materials, the appropriate material was chosen using the CBCT images. The surgical stent, which could be easily placed into an oral cavity, was designed with chosen material. CBCT images of the new surgical stent on mandible were obtained using Alphard-3030 dental CT system (Asahi Roentgen Co., Ltd., Kyoto, Japan). The point of insertion was prescribed on the surgical stent with the multiplanar reconstruction software of OnDemand3D (CyberMed Inc., Seoul, Korea). Guide holes were made at the point of insertion on the surgical stent using newly designed guide jig. CBCT scans was taken for the second time to verify the accuracy of the newly designed surgical stent.

Results : Teflon-PFA showed radiologically excellent image characteristics for the surgical stent. High accuracy and reproducibility of implantation were confirmed with the surgical stent.

Conclusion : The newly designed surgical stent can lead to the accurate implantation and achieve the clinically predictable result. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2010; 40 : 171-8)

KEY WORDS : Cone-Beam Computed Tomography; Dental Implants; Surgical Stent

서 론

치과 임상에서 상실된 치아의 기능과 심미적 회복을 위한 임플란트 시술시에 임플란트의 정확한 식립위치를 결정하는 술전 검사가 필요하다. 영상학적 정보는 중추적인 역할을 하며, 치과의사가 치료의 경과를 예측함으로써 보다 좋은 결과를 얻을 수 있도록 많은 도움이 된다.¹⁻⁶

임플란트 시술을 위한 방사선학적 평가는 구내방사선영상, 파노라마방사선영상, 두부규격방사선영상과 같은 일반방사선영상, 단층촬영영상 (tomography), 전산화단층영상 (computed tomography; CT) 등에 의하여 이루어진다.⁷⁻⁹ 일반방사선영상은 해부학적 구조의 중첩과 불균일한 확대율 등

의 단점이 있어 임플란트의 정확한 식립위치를 결정하기 위한 충분한 정보를 얻을 수 없다.⁹ 단층촬영영상과 전산화단층영상에서 만들어진 절단면영상은 악골의 협-설측 방향의 해부학적 정보를 제공하지만 단층촬영영상은 영상의 흐려짐과 낮은 대조도로 인하여 해부학적 구조의 재현성이 낮아지고 영상분석시 오차가 발생할 수 있다. 반면 전산화단층영상은 영상분석용 소프트웨어를 사용하면 다양한 방향에서의 악골의 단면영상들을 얻을 수 있고 정확한 거리와 각도 측정이 가능하다. 또한, 악골의 골밀도 등과 같은 정보도 얻게 되어 임플란트 식립을 위한 정확한 평가를 할 수 있다.¹⁰⁻¹⁵

임상가들은 일반적으로 임플란트의 술전 평가를 위해 파노라마방사선영상과 같은 일반방사선사진에서 확대율의 오차를 수정하기 위해 방사선불투과성 물체를 이용하는 단순한 수술유도장치 (surgical stent or template)를 사용한다.^{12,16-18} 전산화단층영상을 이용한 외과용 스텐트는 해부학

접수일 (2010년 10월 20일), 수정일 (2010년 11월 25일), 채택일 (2010년 11월 27일)
Correspondence to : Prof. Yong-Suk Choi
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Kyung Hee University, 1 Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-701, Korea
Tel) 82-2-958-9408, Fax) 82-2-965-1256, E-mail) omrcys@khu.ac.kr

적 구조를 재형성하고 모델을 제작해야 하며 영상분석 등 여러 단계의 작업과정을 거쳐야 한다.^{12,19-32} 그러므로 외과용 스텐트의 제작비용이 고가이며 전산화단층영상의 정보에 따라 수술유도장치의 정확도 및 정밀도의 차이가 발생된다. 이와 같이 고도로 복잡하고 정밀화된 수술유도장치 제작을 하지 않으면 실제 수술 시에 전산화단층영상 분석으로부터 얻어진 정보를 수술유도장치에 정확히 전달할 수 없다.^{24,27,33} 또한 기존의 전산화단층영상은 촬영시 많은 방사선 조사선량으로 인하여 환자에서의 유효선량이 증가하고 촬영 비용이 고가이다. 따라서 임상에서 전산화단층영상 적용 수술유도장치(CT-guided surgical stent)의 일반적인 사용이 어렵다.

현재 임상에서 사용되고 있는 콘빔형전산화단층영상(cone beam computed tomography; CBCT)은 보다 정확한 악안면 영역의 해부학적 평가가 가능한 영상화 기법으로서 기존의 영상에서 제공하지 못했던 고해상도의 영상과 위치 정보를 제공한다.^{29,30} CBCT영상에서는 다면영상재구성과 3차원 영상화 소프트웨어의 개발로 술전 시뮬레이션과 술중 내비게이션 기능이 가능하다. 또한 CBCT촬영술은 일반 전산화단층영상촬영술에 비하여 훨씬 낮은 유효선량으로 일반전산화단층영상이 제공하는 정보를 얻을 수 있다. 그러나 모든 영상화 기법에서는 각각의 한계성이 있으므로 이들에 대한 이해와 올바른 적용이 절실히 요구된다.^{2,3} 특히 치과 임플란트 시술시 정확하고 예측 가능한 치료결과를 도출하기 위해서는 진단학적 영상정보를 수술과정 중에 정확히 반영할 수 있는 장치를 이용하고 이를 적절히 적용하는 지식과 기술이 필요하다고 생각된다.

치과용 CBCT영상의 영상정보 전달을 위한 치과 임플란트 식립용 외과용 스텐트를 이용하면 보다 정확한 치료계획을 수립할 수 있고 치료 후 결과에 대한 예측을 가능하게 하여 임상 의와 환자 모두에게 만족할 만한 치료 결과를 가져올 것이다. 또한 보다 기능적이고 심미적인 시술을 행할 수 있어 보다 적은 비용으로 폭넓게 임상에 활용될 수 있다. 따라서 CBCT영상을 이용하여 보다 쉽게 적용될 수 있는 외과용 스텐트를 개발하는데 이 연구의 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 실험재료

1) 실험재료의 재료학적 검색과 선정기준

현재 임상에서 사용되고 있는 재료 중 CBCT영상에서 나타나는 방사선 투과감쇠의 정도를 평가하고 적절한 물리적 특성과 조작하기 용이한 재료를 선정하였다. 임상에서 활용되는 치과용 인상재, 레진 계열의 복합수지, 적절한 감쇠를 보일 수 있는 금속 등에 대하여 물리적 성질을 파악

하였고 생체적합성의 여부를 조사하였다. 임상에서 조작의 용이함과 구강내 적합성을 평가하였다. 이에 따라 외과용 스텐트로서 선택된 재료는 aluminum, Teflon-PFA or PFA (Perfluoroalkoxy), acetal (Polyoxymethylene plastic) 3종류이며 환자의 구강내에서 치아 및 주변지지 조직의 해부학적 형태를 인기 할 수 있는 인상용 재료는 치과용 고무인상재인 dental polyvinylsiloxane (PVS) impression materials 이었다.

2. 실험방법

1) 선정된 재료의 CBCT영상 특성 검사

이들 재료에 대한 방사선학적 영상 특징을 파악하여 영상의 질의 저하 여부, 정확한 해부학적 형태의 재현, 기존 영상에 미치는 노이즈 발생 정도를 평가하였다. 이를 위해 자체 제작한 acrylic resin으로 만든 원통형 수조에 aluminum, Teflon-PFA (PFA; Perfluoroalkoxy), acetal (Polyoxymethylene plastic) 3종류를 위치시킨 후 증류수를 채웠다. CBCT영상 획득을 위한 촬영장치로는 Alphard-3030 Dental CT system (Asahi Roentgen Co. Ltd, Kyoto, Japan)을 이용하였다. 촬영 조건은 관전압 80kVp, 관전류 12mA, 노출시간 17초로 하였다 (Fig. 1).

2) 외과용 스텐트의 고안과 제작

외과용 스텐트의 개발에는 재료학적으로 생체에 적합성이 높고 안정적이며 CBCT영상에서 정밀한 재현이 가능한 3종류의 재료를 이용하였다. 새로 개발된 외과용 스텐트는 구강내에 적합한 상태에서 촬영한 CBCT영상으로부터 공

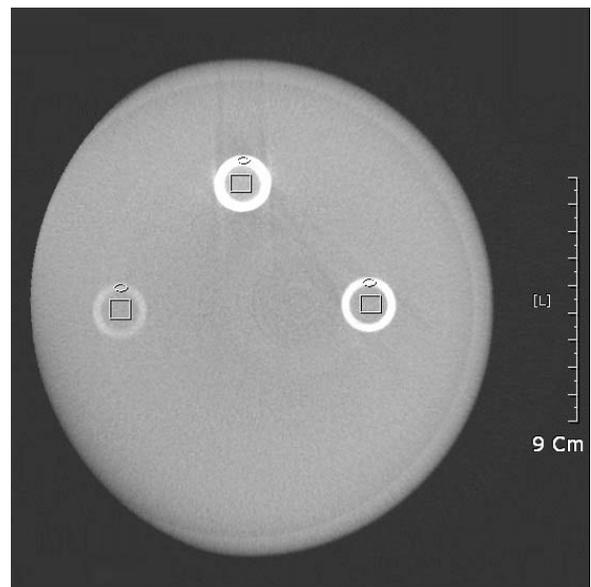


Fig. 1. Measuring the density of three materials (aluminum (top), Teflon-PFA (Perfluoroalkoxy) (right one of bottom row), and acetal (Polyoxymethylene plastic) (left one of bottom row)) for a surgical stent on CBCT image.

간적인 정보를 얻고 CBCT영상에서 외과용 스텐트의 외형을 정확하게 재현할 수 있는 적절한 물리적 특성을 갖는다. 치과 임플란트를 식립할 부위에 대한 3차원적인 위치 추적과 설정이 가능하도록 설계 제작하였다.

이와 같이 제작된 외과용 스텐트로 사용될 시적장치는 치과용 고무인상재인 PVS 인상재를 사용하여 실제 실험모델 또는 환자의 구강내에서 인상을 채득하고 시적장치의 외형에 맞게 절단한 후 다시 환자의 구강내에 오차없이 재장착시킨 상태에서 CBCT영상을 채득하였다.

이렇게 촬영한 CBCT영상은 12 bit의 DICOM 3.0 format 영상으로, 이를 OnDemand3D (CyberMed Inc., Seoul, Korea) 소프트웨어를 사용하여 다면재구성영상에서 임플란트의 식립위치를 결정하였다. CBCT 영상에서 결정된 임플란트 식립위치에 대한 정보는 다음과 같이 정하였다. 이 정보를 외과용 스텐트에 전달할 수 있도록 우선 시적장치의 상면에서는 유도관이 삽입될 초기 자입위치를 상면에 표시된 점상의 표지자들로부터 얻었다. 즉 임플란트의 식립위치에 대한 정보는 초기 자입위치에서 가깝게 있는 표지자로 이용될 3점으로부터 거리를 측정하고 이를 기준하여 그린 원의 교차점을 초기 자입위치로 결정하였다. 그리고 이 자입점에서 협-설적인 각도 및 근-원심으로 진행각도를 각각 정하였다.

3) 드릴의 유도관(guide hole) 제작을 위한 guide jig 고안과 제작

임플란트 식립 위치를 유도할 수 있는 유도관을 시적장치에 장착하기 위하여 설정된 정보를 외과용 스텐트에 전달할 수 있도록 새로운 guide jig 장치를 설계하고 제작하였다.

개발된 guide jig는 CBCT 영상에서 처방된 위치로 임플란트 드릴을 유도할 수 있는 유도관(guide hole)을 매식할 수 있게 하며, 이때 매식될 유도관은 지속적인 드릴의 직경 변화에 적합할 수 있고 시술중 오차 범위를 최소로 할 수 있도록 디자인하였다. 유도관은 외경 5 mm, 내경 3 mm의 파이프 형태의 관상구조이다. 수술 중 삭제에 의한 탈락물이 발생하더라도 수술에 영향을 미치지 않고 제거가 가능하며 생체적합성을 갖는 재료인 titanium으로 제작하였다.

1차로 설계 제작된 guide jig는 정확한 고정을 하기 어렵고 각도의 전달이 동시에 이뤄져 발생하는 오차가 있다는 단점이 나타나 이를 줄일 수 있는 새로운 2차 guide jig를 제작하였다.

4) 임상에서 적용하는 경우를 재현할 수 있는 실험모델 개발 실험체로는 약 생후 1년 이내에 희생된 돼지(swine pig)에서 적출된 6개의 하악골을 대상으로 하여 상기 과정에서 대한 임상실험을 실시하였다. 임상실험 모델로 사용된 돼지의 하악에서 치아를 발거하고 이 부위를 동종골과 접착 물질로 채워 넣어 실제 환자에서 발치 후 무치악상태에서

임플란트를 식립할 부위를 재현하였다.

수술용 유도장치에 치과용 고무인상재(PVS 인상재)를 사용하여 인상을 획득하고 획득한 인상을 시적장치의 외형에 맞게 절단한 후 이를 실제 실험모델에 정확히 다시 정위치시켰다.

개발된 시적장치를 하악골에 적합하여 CBCT영상을 채득하고 다면영상재구성과 삼차원영상분석 소프트웨어에서 정확한 임플란트의 식립위치를 처방하였다. 처방된 정보는 guide jig에서 유도관을 매식할 수 있도록 구멍을 형성하였다. 이와 같이 제작된 외과용 스텐트를 실제 실험체에 임플란트를 식립한 후 처방과정에 예견했던 위치로 정확히 식립되었는지 여부를 2차 CBCT촬영을 시행하고 실제 단면 절편을 얻어 발생된 오차범위를 Ozan 등³⁰의 방법으로 측정하여 정확성을 평가하였다. .

결 과

1. Aluminum, Teflon-PFA, acetal에 대한 CBCT의 영상학적 특성

참조체인 순수한 물, aluminum, Teflon-PFA, acetal의 각각의 영상들은 STARPACS PiviewStar (Infinit Co. Ltd., Seoul, Korea) 소프트웨어에서 CBCT영상의 특성을 파악하고자 재료들의 CBCT 평균농도값(mean gray value; mean)과 표준편차(standard deviation; SD)를 측정하였다. Aluminum는 평균농도값이 1354.5, 표준편차가 162.3이었고, Teflon-PFA는 평균농도값이 184.9, 표준편차가 72.9이었으며, acetal은 평균농도값이 -129.4, 표준편차가 21.3이었다. 내부와 외부에서 노이즈 발생정도는 acetal, Teflon-PFA, aluminum의 순으로 높았으나 그 정도가 미약하여 내부의 영상획득에 문제를 야기하지 않았다. 이 중에서 Teflon-PFA가 CBCT 영상에서 가장 적정한 수준의 농도값을 보임으로써 형태적 재현성이 높고 재료의 내부와 주변의 구조물에 대한 영향이 적어 가장 적절한 CBCT영상학적 특성을 보였다(Table 1).

2. 고안된 외과용 스텐트에 임플란트 식립위치 정보의 전달

실험체인 돼지의 하악골에 PVS 고무인상재를 사용하여 해부학적 구조를 인기하고 이를 다시 재적합시킨 상태에서 CBCT촬영을 시행하였다. 각각의 CBCT영상으로부터 OnDemand3D 소프트웨어를 사용하여 얻어진 다면재구성영상과 삼차원재구성영상에 임플란트의 식립위치를 결정하였다. 우선 유도관이 삽입될 초기 자입위치 결정은 외과용 스텐트의 상면에 표시된 8개의 점상의 표지자를 이용하였다. 이중 자입위치에 근접한 3점으로부터 거리를 측정한 후 이를 기준으로 그린 원의 교차점을 초기 자입위치

Table 1. CBCT image characteristics of materials in themselves and adjacent regions (inner space and outer space)

	ROI-material		ROI-inner space		ROI-outer space	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Pure water	-279.8	53.7				
Aluminum	1354.5	162.3	-307.8	68.7	-316.4	76.4
Teflon-PFA	184.9	72.9	-288.6	62.4	-301.4	67.9
Acetal	-129.4	21.3	-285.2	58.4	-291.7	63.5

ROI: region of interest, Mean: mean gray value, SD: standard deviation

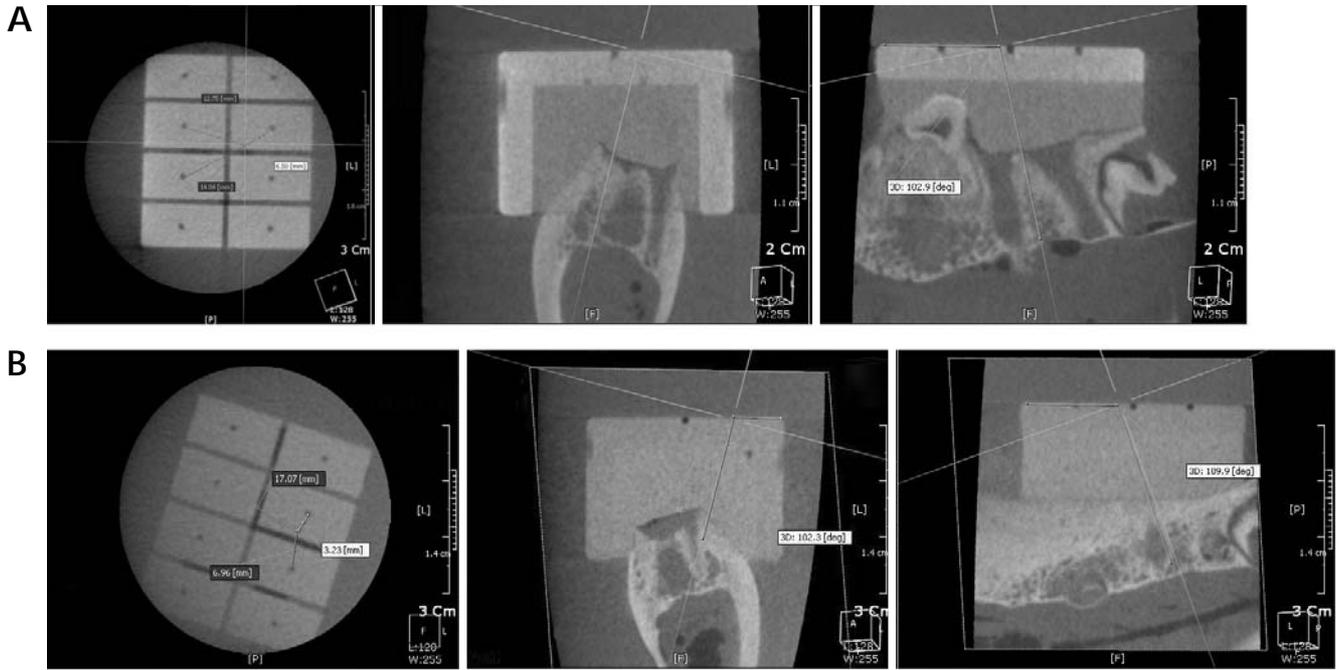


Fig. 2. The decision of insertion point for guide hole and implant by using OnDemand3D (CyberMed Inc., Co., Seoul, Korea) software. To transfer accurate insertion point for guide hole, the distance from neighboring 3 points is measured on the upper part of newly invented surgical stent. At this insertion point, bucco-lingual inclination angle and mesio-distal inclination angle are measured. Then the prescription is transferred to the surgical stent (A: surgical stent with Aluminum, B: surgical stent with Teflon-PFA).

로 정하였다 (Fig. 2).

이 자입위치에서 협-설적인 각도 및 근-원심으로 진행각도를 각각 정하였다. 이와 같이 정해진 임플란트의 식립위치에 맞게 임플란트 수술용 드릴을 유도할 수 있는 유도관을 삽입하기 위하여 이를 외과용 스텐트에 전달하였다.

3. 개발된 guide jig를 이용하여 최적의 임플란트 식립위치를 유도할 수 있는 유도관의 장착

CBCT영상에서 처방되고 외과용 스텐트에 전달된 임플란트 식립위치의 정보는 개발된 guide jig에서 외과용 스텐트 상면에 초기 자입위치를 설정하였다. 이 점으로부터 근-원심축에 위치할 각도와 협-설축으로 위치할 각도에 맞는 임플란트 식립을 위한 유도관을 매식할 수 있도록 동작기계 (CNC machine)에서 직경 5 mm의 구멍을 형성하였으며 이 구멍에 titanium (외경 5 mm, 내경 3 mm)으로 제작된 유

도관을 장착하였다.

외과용 스텐트를 실험체인 하악에 재위치시킨 후 임플란트 식립 전 CBCT 영상을 촬영하였다. 얻어진 CBCT 영상은 계획하였던 위치로의 임플란트 식립을 위한 유도관이 삽입되어 있는데 수술 중에 적용될 적절한 유도도를 보여 준다 (Fig. 3).

4. 실험모델로 선정된 돼지의 하악에 시행한 임상 실험의 평가

실험체인 돼지의 하악에 외과용 스텐트를 위치시킨 후 pilot 드릴과 initial 드릴을 사용하여 직경 3 mm 크기의 유도관을 형성하였다. 그 후 유도관을 제거하고 임플란트 직경에 맞는 드릴을 사용하여 임플란트를 식립하였다. 사용된 임플란트는 직경 4.3 mm, 높이 10 mm의 Implantium FX4310 (Dentium Co., Seoul, Korea)이었다.

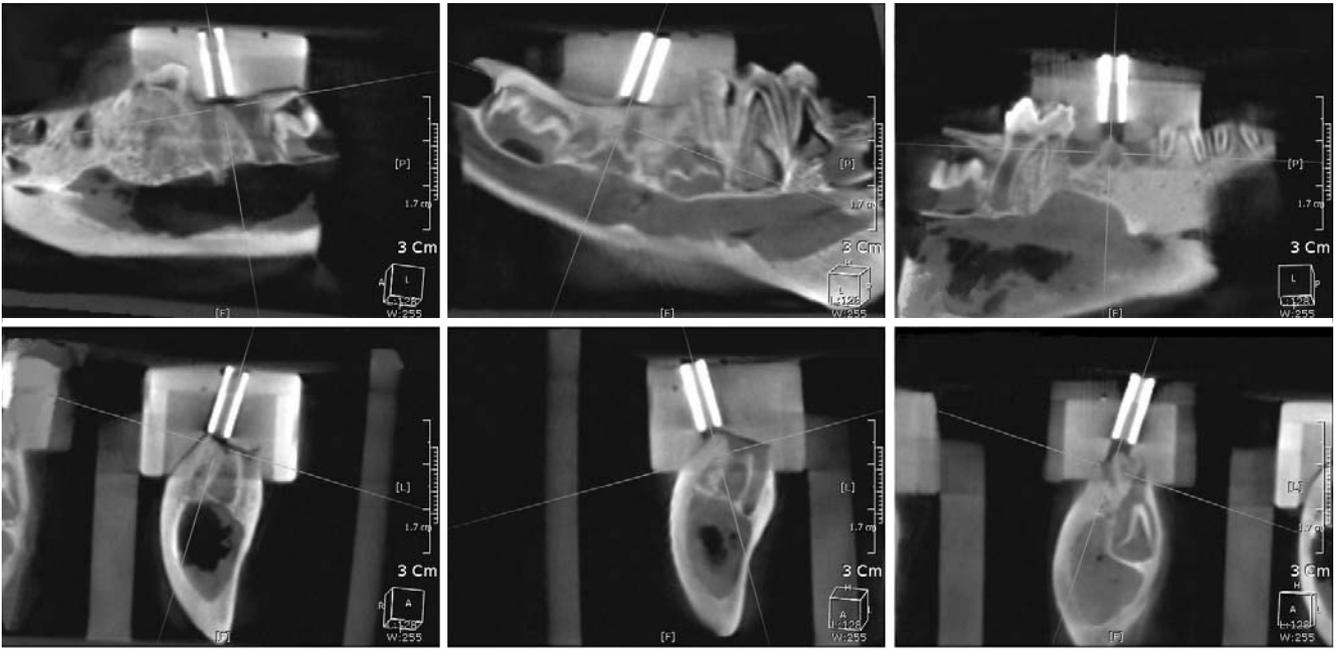


Fig. 3. Before implantation, the images of CBCT show that the guiding holes are placed on the surgical trays as planned. The guiding holes can provide an appropriate guide during the implant operation.

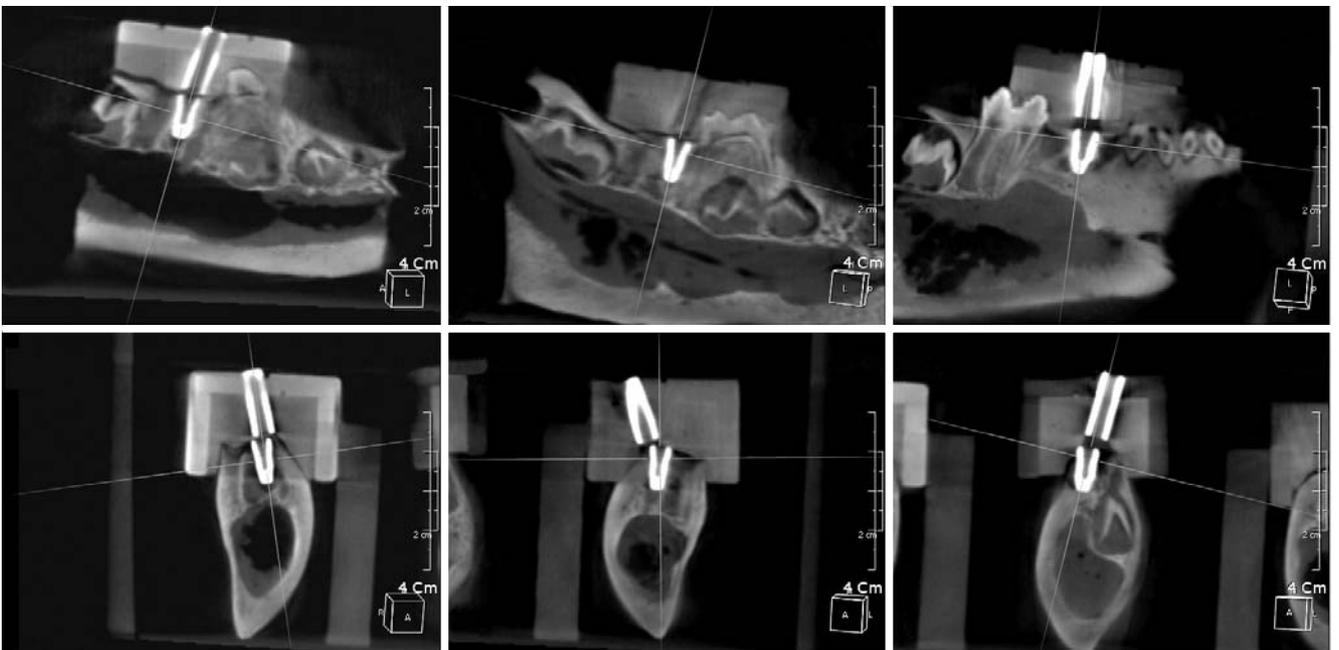


Fig. 4. After implantation, implants are placed as planned.

임플란트 식립 기술을 마친 후 처음에 계획한 위치에 임플란트가 정확히 위치했는지를 평가하기 위해 CBCT영상을 촬영하여 임플란트의 중심을 절단하는 단면영상을 얻었다(Fig. 4).

처음에 계획한 임플란트 식립방향과 실제 임플란트가 식립된 위치에 대한 평가를 위하여 식립된 각도의 편차와

임플란트의 최상부와 최하부의 중심점이 처음에 계획된 처방한 위치에서 벗어난 거리를 측정하였다. 처음에 계획한 식립방향과 수술 후 실제 식립된 위치간의 각도차는 평균 7.1° 이었고 임플란트의 상부와 하부에서 거리 차는 1.1 mm, 1.6 mm 이었다(Table 2).

Table 2. Comparison of the placed implant with the plan, the angular deviation of placed implants and the linear deviation at neck and apex areas of placed implants

	Dev. of angle (°)	Linear Dev. at neck (mm)	Linear Dev. at apex (mm)
Aluminum I	5.9	0.7	1.3
Aluminum II	6.8	1.2	1.6
Teflon-PFA I	9.7	1.5	2.3
Teflon-PFA II	5.8	0.8	1.2
Acetal I	7.8	1.1	1.4
Acetal II	6.4	1.4	1.7
Average	7.1	1.1	1.6

Dev.: deviation

고찰

전산화단층영상은 임플란트 식립을 계획하는데 있어 다양하고 유용한 정보를 임상가에게 전달해준다.¹⁻³ 특히 식립하고자 하는 부위에 영양관과 하악관 및 상악동과 같은 임플란트 식립시 고려해야 할 해부학적 구조가 근접하는 경우와 식립할 부위의 골량이 부족하고 골질의 상태가 좋지 않을 때 그 유용성은 커진다. 임플란트 식립을 위한 전산화단층영상을 이용하면 기존의 일반방사선학적 검사법에 비교하여 술전에 계획하였던 임플란트 식립위치와 술 후 실제로 식립된 위치와의 관계를 보다 정확히 확인할 수 있다.⁴⁻⁹

선학들의 연구에서도 임플란트의 식립을 위한 일반방사선사진과 전산화단층영상의 영상의학적 이용이 활발하게 논의되고 있으며 특히 전산화단층영상의 효율과 필요성에 관하여 많은 언급이 있었다.⁷⁻⁹ 임상적으로 충분한 골량이 존재하고 일반방사선사진에서 수직적 골 높이가 확인된 경우에는 일반방사선사진으로도 치료계획의 수립이 가능하다고 하였다.⁷ 하지만 파노라마와 같은 일반방사선사진은 확대율이 일정하지 않고 협-설측 구조물의 삼차원적인 정보를 제공하지 못하므로 일반방사선검사를 시행할 때에도 반드시 판단의 지침이 될 수 있는 유도장치를 사용할 것을 권고하였다.^{10-12,16}

전산화단층영상으로 임플란트 시술의 계획을 수립하기 위해서는 특별히 고안된 영상분석 및 전시용 소프트웨어가 필요하다. 이러한 소프트웨어를 이용한 다면재구성영상에서 악골의 협-설측의 해부학적 구조를 파악하고 임플란트 식립시 악골내 존재하는 여러 가지 요소들을 평가하여 수술과정에 좋은 정보와 지침을 줄 수 있다. 그러나 술전에 계획한 위치로 정확히 임플란트를 식립하기 위해서는 다양한 형태의 수술유도장치의 사용이 필요하다.

전산화단층영상을 이용하는 다양한 수술유도장치의 제작방법이 있는데^{12-15,17-26,33,34} 전산화단층영상을 이용하여 해부학적 구조의 모형을 제작하고 이 모형 위에 전산화단

층영상 분석에 의한 임플란트 식립위치로의 수술유도장치를 제작하는 방법과 CAD-CAM기술을 기반으로 하여 보다 정밀한 수술유도장치를 제작하는 방법 등이 있다. 또한 수술유도장치가 수술시 유지를 얻는 방법의 차이에 따라 치아지지, 점막지지, 악골지지 등으로 구분되어 제작되고 있다.³⁰ 이러한 수술유도장치의 정밀한 제작을 하기 위해서는 상대적으로 많은 노력과 비용이 필요하다.

비교적 단순한 수술유도장치의 경우에는 술전에 계획하였던 위치와 시술시 이를 전달하는 과정에서 발생하는 정보의 손실로 인하여 오차가 발생할 가능성이 커진다.^{13,14,23} 특히 최근의 임플란트 시술은 보다 심미적이고 최종 결과물인 보철물의 기능적 요소를 충족시켜 주어야 함으로 보다 철저한 치료계획의 수립을 요구한다. 더욱이 관혈적 수술을 최소로 하기 위해 점막박리를 하지 않고 임플란트를 식립하고 식립된 임플란트에 조기부하를 가하고자 하는 임상적 시도가 증가하고 있다.²⁷⁻³² 이러한 임상적 요구에 따른 성공적인 시술을 하기 위해서는 악골내 최적의 위치에 임플란트를 식립해야 한다. 이를 위해서는 보다 정밀하고 정확한 수술유도장치의 사용이 필요하다. 하지만 전산화단층영상을 이용하는 경우에는 환자에 대한 유효선량이 크며 고도의 정밀한 수술유도장치를 제작하기 위한 비용과 노력이 필요하다는 점에서 제한적 요소로 작용한다. 이에 본 연구에서는 방사선의 위해가 상대적으로 낮고 정확한 진단 정보를 얻을 수 있는 CBCT영상을 이용하는 새로운 임플란트 식립용 수술유도장치의 개발을 시도하였다.

기존의 임플란트 수술유도장치는 환자의 구강내 형태를 인기한 석고모형에서 적합한 보철물의 위치를 가정하여 이를 바탕으로 임플란트 시술시 골삭제를 위한 유도관을 삽입한다. 그 후 전산화단층영상을 취득하고 이를 수정하는 방식을 이용하였다. 이 방식은 전산화단층영상에서 수립한 계획에 따라 정확히 임플란트 식립수술을 하는데 오차를 발생시킬 가능성이 커지며 실제로는 임상가의 경험에 의존하여 수술이 진행될 수 있다. 이러한 오류에 대하여 Jabero 등²³은 “missing link”라고 하였으며, 이를 극복하기 위해서 stereolithographic (SLA) surgical stent, CAD-CAM 기술 및 실시간 수술용 내비게이션 시스템 등 보다 정밀한 수술유도장치와 수술법들이 임상에서 활발하게 응용되고 있다.²⁷⁻³² 그러나 이들은 높은 비용과 많은 시간을 필요로 하는 단점이 있다. 본 연구에서 고안한 외과용 스텐트는 환자의 구강 상태를 PVS 치과용 고무인상재를 사용하여 인기하고 이를 다시 환자의 구강내에 재장착 시킨 상태에서 CBCT 영상을 촬영하는 새로운 방법을 이용하였다.

본 연구에서 개발한 치과용 임플란트 식립을 위한 외과용 스텐트 제작에 선택된 재료로서 금속은 aluminum, 합성수지는 Teflon-PFA와 acetal의 3종류와 인상재로는 PVS 고무인상재를 사용하였다. 이들 재료의 요구 조건으로는 수술유도장치로서의 충분한 강도와 최소의 체적의 변화 등의

적절한 물리적 성질을 갖추고 있어야 하며 CBCT영상에서 인공음영이 최소로 나타나야 한다. 또한 외과용 스텐트에 각인된 표지자들의 영상 재현성이 우수하고 생체에 독성 등의 발현이 없이 안정성이 확보되어야 한다. 이러한 점에서 3종류의 재료가 모두 일정 수준 이상의 구비조건을 만족시켰으나 CBCT영상에서 적절한 농도를 보이고 영상의 재현성과 다른 성상들이 가장 우수한 재료는 Teflon-PFA로 생각되었다.

본 연구에는 CBCT영상을 이용하여 계획한 임플란트의 식립위치가 외과용 스텐트에 재현하여 임플란트 식립을 유도할 수 있게 하였다. 이를 위하여 외과용 스텐트의 상면을 깊이 1 mm의 구로 8등분하고 그 중앙에 직경 0.5 mm 깊이 0.5 mm의 점상의 표지점을 형성하였다. 또한 외과용 스텐트의 측면을 상면과 정확히 직각을 이루도록 제작하고 이 측면에 평행한 3개의 깊이 1 mm 구를 형성하여 CBCT영상에서 식립위치를 결정하는 기준면으로 사용하였다. 그리고 외과용 스텐트 내면의 상면과 옆면에 서로 직각방향으로 깊이 1 mm의 구를 형성하여 치과용 고무인상재의 재위치를 위한 기준으로 삼아 항시적인 위치설정과 재장착을 유도할 수 있도록 하였다.

임플란트의 식립위치를 결정하는 과정에서는 촬영된 CBCT영상에 대하여 OnDemand3D 소프트웨어를 이용하여 얻어진 다면재구성영상에서 식립위치를 계획하고 외과용 스텐트를 이용하여 임플란트의 식립방향에 맞는 유도관의 방향설정, 임플란트의 직경 및 깊이를 결정하였다. CBCT영상에서 임플란트 식립위치를 설정하는 순서는 적절한 식립위치를 결정하고 이와 연장되는 유도관의 위치를 정하기 위해 외과용 스텐트의 상면에서 유도관이 삽입될 초기 자입위치를 상면에 형성된 점상의 표지점에서 자입위치까지의 거리를 근접한 3개 표지점으로부터 측정하였다. 이들 측정치를 외과용 스텐트에 전달한 후 외과용 스텐트의 상면의 자입위치에서 임플란트가 식립될 방향으로 유도관이 삽입될 근-원심축 각도 및 협-설축 각도를 측정하여 외과용 스텐트에 전달하였다. 또한 촬영된 CBCT영상정보로부터 외과용 스텐트에 처방 전달된 위치에 임플란트 수술시 드릴의 방향을 결정하는 정밀한 유도관(guide hole)의 제작을 위한 guide jig 장치를 고안하고 제작하였다 이러한 일련의 과정을 진행할 수 있는 시스템을 구축한 것은 본 연구에서 얻은 중요한 결과라고 생각된다.

본 연구에서 실제 임상적용의 모델로 선정된 돼지의 하악에서 치아를 발거하고 임플란트 식립을 시행하였다. 처음 계획된 위치와 식립후 확인된 실제 식립위치 간의 차이는 식립각도는 7.1° 이었고, 임플란트의 경부와 침부에서의 거리는 각각 1.1 mm와 1.6 mm이었다. 임플란트 식립용 수술유도장치를 사용한 증례에서 술전 계획과 술후 결과와의 상관관계에 관하여 Naitoh 등¹³은 실제 계획한 식립위치와 술후 식립된 임플란트의 식립각도의 편차가 $0.5\text{--}14.5^\circ$ 범

위에 있었으며 평균이 5° 라고 보고하였고, SLA surgical guide를 사용한 Sarment 등³³의 연구에서는 임플란트의 경부에서는 0.9 mm이고 치근부에서는 1.0 mm로 정밀한 식립이 가능하다고 보고하였다. 94개의 식립된 임플란트에 대한 Ersoy 등²⁸의 연구에서는 상악과 하악의 평균값으로 볼 때 식립각도의 편차가 4.9° 였고 경부와 침부에서 거리적 편차는 각각 1.2 mm와 1.5 mm라고 보고하였다. Valente 등³¹의 연구에서는 식립각도의 편차가 7.9° 였고 경부와 침부에서 거리적 편차는 각각 1.4 mm와 1.6 mm이었다. Ozan 등³⁰의 연구에서는 치아치지, 점막지지, 악골지지 3가지 형태의 수술유도장치에서 식립각도의 편차가 4.1° 이었고, 경부와 침부에서 거리적 편차는 1.1 mm와 1.4 mm이었으며 3가지 종류별 식립각도의 편차에서 치아치지가 2.9° , 점막지지가 4.5° , 악골지지가 4.6° 로 치아치지 수술유도장치의 정확도가 높았다고 하였다. 본 연구에서 비록 적은 수의 임상실험을 행하여 그 재현성에 대해 논란의 여지는 있으나 차이는 식립각도에서는 7.1° 이었고, 임플란트의 경부와 침부에서의 거리는 각각 1.1 mm와 1.6 mm로 선행들의 연구결과와 유사한 정도의 정확성이 있다고 사료된다.

본 연구에서 개발된 치과 임플란트용 수술 유도장치는 실제 임상에서 쉽고 폭넓게 적용될 수 있다. 기존의 소수의 상실치가 있는 증례뿐만 아니라 다수의 치아가 상실된 증례에도 이 시스템의 응용이 가능하고 특히 점막을 절개, 박리하지 않은 임플란트 시술법에서 이의 사용이 절대적으로 필요하리라 생각된다. 또한 앞으로 계획하는 바에 따라서 약간의 디자인의 변경을 한다면 교정용 mini-screw와 anchorage implant, 과잉매복치 발거술, 매복치의 노출, 치근 단절제술 등 구강내 시행하는 소수술에도 폭넓게 적용될 수 있으리라 사료된다.

본 연구에서는 CNC 공작기계를 사용하여 수술유도장치를 제작하였으나 실제 환자에 적용하는 단계에 이르면 대량 제작을 하는 산업화 과정을 유도할 수 있다. 또한 이는 CBCT영상과 연계하여 사용되어야 하므로 구강악안면방사선분야의 구강악안면영상진단센터에서 본 시스템을 사용하여 의뢰된 환자에 대한 임플란트 식립위치를 결정하여 이를 개발된 수술 유도장치에 전달하고 제작함으로써 새로운 부가가치의 창출을 기대한다.

본 연구를 통해 고안된 치과 임플란트용 수술 유도장치는 향후 영상학적 검사시 새로운 부가가치를 창출하는 기술로 인정될 것으로 사료되며 이를 통한 구강악안면영상진단센터의 개설과 임상가들이 선호하는 외과용 스텐트를 공급함으로써 새로운 시장의 개척과 함께 경제적 이익을 창출할 것으로 여겨진다. 또한 보다 기능적이고 심미적인 시술을 행할 수 있으며 보다 적용비용으로 폭 넓게 임상에 적용될 수 있다. 하지만 아직 초기 개발과정이라 실제 임상에 적용될 때의 유용성과 수술시 문제점들에 대한 해결이 요구되며 이를 위해서는 보다 다양한 임상 증례에

대한 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. Benson BW, Shetty V. Dental implants. In: White SC, Pharoah MJ, editors. *Oral Radiology: Principles and interpretation*. 6th ed. St. Louis: Mosby, Inc; 2009. p. 597-612.
2. White SC, Heslop EW, Hollender LG, Mosier KM, Ruprecht A, Shrouf MK, et al. Parameters of radiologic care: An official report of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 91 : 498-511.
3. Choi YS, Hwang EH, Lee SR. Clinical application of cone beam computed tomography in dental implant. *J Korean Dent Assoc* 2006; 44 : 172-9.
4. Tal H, Moses O. A comparison of panoramic radiography with computed tomography in the planning of implant surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20 : 40-2.
5. Klein M, Cranin AN, Sirakian A. A computerized tomography (CT) scan appliance for optimal presurgical and preprosthetic planning of the implant patient. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1993; 5 : 33-9.
6. Lee SY, Morgano SM. A diagnostic stent for endosseous implants to improve conventional tomographic radiographs. *J Prosthet Dent* 1994; 71 : 482-5.
7. Reddy MS, Mayfield-Donahoo T, Vandervan FJ, Jeffcoat MK. A comparison of the diagnostic advantages of panoramic radiography and computed tomography scanning for placement of root form dental implants. *Clin Oral Implants Res* 1994; 5 : 229-38.
8. Gher ME, Richardson AC. The accuracy of dental radiographic techniques used for evaluation of implant fixture placement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1995; 15 : 268-83.
9. Garg AK, Vicari A. Radiographic modalities for diagnosis and treatment planning in implant dentistry. *Implant Soc* 1995; 5 : 7-11.
10. Verstrecken K, Van Cleynenbreugel J, Marchal G, Naert I, Suetens P, van Steenberghe D. Computer-assisted planning of oral implant surgery: A three-dimensional approach. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996; 11 : 806-10.
11. Verstrecken K, Van Cleynenbreugel J, Martens K, Marchal G, van Steenberghe D, Suetens P. An image-guided planning system for endosseous oral implants. *IEEE Trans Med Imaging* 1998; 17 : 842-52.
12. Walker M, Hansen P. Dual-purpose, radiographic-surgical implant template: fabrication technique. *Gen Dent* 1999; 47 : 206-8.
13. Naitoh M, Arijji E, Okumura S, Ohsaki C, Kurita K, Ishigami T. Can implants be correctly angulated based on surgical templates used for osseointegrated dental implants? *Clin Oral Implants Res* 2000; 11 : 409-14.
14. Simon H. Use of transitional implants to support a surgical guide: enhancing the accuracy of implant placement. *J Prosthet Dent* 2002; 87 : 229-32.
15. BouSerhal C, Jacobs R, Quirynen M, van Steenberghe D. Imaging technique selection for the preoperative planning of oral implants: a review of the literature. *Clin Implant Dent Relat Res* 2002; 4 : 156-72.
16. Basten CH, Kois JC. The use of barium sulfate for implant templates. *J Prosthet Dent* 1996; 76 : 451-4.
17. Kopp KC, Koslow AH, Abdo OS. Predictable implant placement with a diagnostic/surgical template and advanced radiographic imaging. *J Prosthet Dent* 2003; 89 : 611-5.
18. Smith DE, Zarb GA. Criteria for success of osseointegrated endosseous implants. *J Prosthet Dent* 1989; 62 : 567-72.
19. Eckert SE, Laney WR. Patient evaluation and prosthodontic treatment planning for osseointegrated implants. *Dent Clin North Am* 1989; 33 : 599-618.
20. Verde MA, Morgano SM. A dual-purpose stent for the implant-supported prosthesis. *J Prosthet Dent* 1993; 69 : 276-80.
21. Engelman MJ, Sorensen JA, Moy P. Optimum placement of osseointegrated implants. *J Prosthet Dent* 1988; 59 : 467-73.
22. Widmann G, Bale RJ. Accuracy in computer-aided implant surgery—a review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21 : 305-13.
23. Jaber M, Sarment DP. Advanced surgical guidance technology: a review. *Implant Dent* 2006; 15 : 135-42.
24. Ozan O, Turkyilmaz I, Yilmaz B. A preliminary report of patients treated with early loaded implants using computerized tomography-guided surgical stents: flapless versus conventional flapped surgery. *J Oral Rehabil* 2007; 34 : 835-40.
25. van der Zel JM. Implant planning and placement using optical scanning and cone beam CT technology. *J Prosthodont* 2008; 17 : 476-81.
26. Spector L. Computer-aided dental implant planning. *Dent Clin North Am* 2008; 52 : 761-75.
27. Azari A, Nikzad S. Flapless implant surgery: review of the literature and report of 2 cases with computer-guided surgical approach. *J Oral Maxillofac Surg* 2008; 66 : 1015-21.
28. Ersoy AE, Turkyilmaz I, Ozan O, McGlumphy EA. Reliability of implant placement with stereolithographic surgical guides generated from computed tomography: clinical data from 94 implants. *J Periodontol* 2008; 79 : 1339-45.
29. Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20 Suppl 4 : 73-86.
30. Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, McGlumphy EA, Rosenstiel SF. Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67 : 394-401.
31. Valente F, Schirolli G, Sbrenna A. Accuracy of computer-aided oral implant surgery: a clinical and radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24 : 234-42.
32. Terzioğlu H, Akkaya M, Ozan O. The use of a computerized tomography-based software program with a flapless surgical technique in implant dentistry: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24 : 137-42.
33. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003; 18 : 571-7.
34. Massey BC, Alder ME. Analyzing implant placement in the posterior maxilla. *J Dent Res* 2002; 81 : 437 (Abstr 3554).