

컴퓨터 시뮬레이션 기반의 외과용 스텐트를 이용한 임플란트 기술과 영상융합기술을 이용한 평가

이지호¹ · 김성민² · 팽준영³ · 김명진^{2*}

¹울산의과대학교 서울아산병원 구강악안면외과, ²서울대학교 치의학대학원 구강악안면외과,

³성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 구강악안면외과

Abstract (J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg 2010;36:402-7)

Implant surgery based on computer simulation surgical stent and the assessment with the image fusion technique

Jee-Ho Lee¹, Soung-Min Kim², Jun-Young Paeng³, Myung-Jin Kim^{2*}

¹Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Seoul Asan Medical Center, College of Medicine, Ulsan University, Ulsan, Korea

²Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

³Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Samsung Medical Center, School of Medicine, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea

Introduction: The planning of implant surgery is an important factor for the implant prosthesis. Stereolithographic (SLA) surgical stents based on a computer simulation are quite helpful for clinicians to perform the surgery as planned. Although many clinical and technical trials have been performed for computed tomography (CT)-guided implant stents to improve the surgical procedures and prosthetic treatment, there are still many problems to solve. We developed a system of a surgical guide based on 3 dimensional (3D) CT for implant therapy and achieved satisfactory results in the terms of planning and operation.

Materials and Methods: Fifteen patients were selected and 30 implant fixtures were installed. The preoperative CT data for surgical planning were prepared after obtaining informed consent. Surgical planning was performed using the simulation program, Ondemend3D In2Guide. The stents were fabricated based on the simulation data containing information of the residual bone, the location of the nerve, and the expected design of the prostheses. After surgery with these customized stents, the accuracy and reproducibility of implant surgery were evaluated based on the computer simulation. The data of postoperative CT were used to confirm this system using the image fusion technique and compare the implant fixtures between the planned and implanted.

Results: The mean error was 1.18 (±0.73) mm at the occlusal center, 1.23 (±0.67) mm at the apical center, and the axis error between the two fixtures was 3.25° (±3.00). These stents showed superior accuracy in maxilla cases. The lateral side error at the apical center was significantly different from the error at the occlusal center but there were no significant differences between the premolars, 1st molars and 2nd molars.

Conclusion: SLA surgical stents based on a computer simulation have the satisfactory accuracy and are expected to be useful for accurate planning and surgery if some errors can be improved.

Key words: Stereolithographic (SLA) surgical stents, Computer simulation, Image fusion

[paper submitted 2010. 5. 24 / revised 2010. 9. 29 / accepted 2010. 10. 13]

I. 서 론

성공적인 임플란트 기술을 위해서는 증례에 따라 보철치료와 해부학적인 사항을 함께 고려하여야 한다. 기본적으로

로 파노라마와 periapical view를 치료계획을 위해 사용하지만 중요한 해부학적 구조물인 하치조신경, 상악동저 등을 더 정확하게 파악하고 보철을 고려한 위치와 방향을 계획하기 위해서는 computed tomography (CT) image가 필수적이다¹.

CT image는 해부학적인 구조물을 다양한 방향에서 관찰할 수 있게 하고 식립을 위한 적절한 위치 및 방향을 결정할 수 있게 한다. 기술계획을 수립할 때에 설정한 임플란트의 식립위치를 실제 수술에 적용하기 위해 일반적으로 surgical stent를 사용하지만 CT에서 얻은 정보를 기반으로 결정된 식립위치를 직접적으로 옮겨주는 것은 아니다. 실제

김명진

100-460 서울시 종로구 연건동 28

서울대학교 치과대학 구강악안면외과학교실

Myung-Jin Kim

Department of Oral and Maxillofacial surgery, Seoul National University Dental Hospital

28 Yungun-dong Chongro-gu, Seoul, 100-460, Korea

Tel: +82-2-2072-2631 Fax: +82-2-766-4948

E-mail: myungkim@snu.ac.kr

* 본 연구는 지식경제부의 디지털융합 인공치아 치료지원 시스템 개발 사업 중 영상융합 치과수술 가이드/지원 시스템 및 대화식 정위 이중 영상장비 개발의 일환으로 수행되었음.

수술에서 술자가 피관을 거상하고 치조골을 노출시키게 되면 surgical stent로 식립깊이와 위치를 파악하기 어렵고 미리 제작한 surgical stent의 역할은 direction indicator에 국한된다².

최근 3차원 CT scan의 발전으로 2차원적인 CT image의 한계를 벗어나 정확한 진단과 다각도에서 얻은 정보를 기반으로 치료계획을 수립하는 것이 가능해 졌다³. 삼차원 CT image는 컴퓨터 소프트웨어 상에서 재구성되어 가상으로 임플란트를 식립하고 보철까지 완성된 상황을 예측하는 것이 가능하고 실제 이러한 용도의 상업용 소프트웨어들이 출시되었다.

컴퓨터 소프트웨어 기반의 stereolithographic (SLA) surgical stent는 기존의 surgical stent와 다른 방식으로 제작된다. SLA surgical stent가 컴퓨터 소프트웨어에서 수립된 계획을 실제 수술에서 정확하게 재현할 수 있어야 기존의 방법으로 제작된 stent에 비해 유용하다고 할 수 있다. 이미 임플란트 수술에서 3차원 CT 및 컴퓨터 소프트웨어를 기반으로 제작된 SLA surgical stent의 정확성 및 재현성에 대한 연구결과들이 발표되었다^{2,4,5}. 그러나, 컴퓨터 소프트웨어가 일부 개발 회사들의 것에 국한되어 있고, 모두 국외에서 연구한 결과들이다. 또한 정확성 및 재현성에 관한 평가에서도 일관성 있는 결과를 제시해 주고 있지는 않다. 현재 국내에서도 3차원 CT와 컴퓨터 소프트웨어를 기반으로 한 SLA surgical stent가 개발되어 시판되고 있으나 초기 단계이며 정확도와 재현성에 관한 구체적인 연구는 아직 실행되지 않은 상태이다.

이에 본 연구에서는 3차원 CT와 국내에서 개발된 컴퓨터 소프트웨어 기반의 SLA surgical stent를 이용한 임플란트 시술을 시행하였으며 정확성 및 재현성에 관한 결과를 비교 분석하여 보고하는 바이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

2009년 3월부터 2010년 3월까지 1년 동안 서울대학교 치과병원 구강악안면외과 및 서울시립장애인 치과병원에 부분 무치악을 주소로 내원한 환자 15명을 대상으로 시행하였다. 심각한 전신질환을 가졌거나 협조도가 떨어지는 환자 및 심한 고령의 환자는 제외하였다. 남성이 9명, 여성이 6명이었으며 연령은 43세에서 67세까지 분포하였고 평균 54.2 ± 9.01 세였다.

식립한 임플란트의 개수는 총 30개였으며 모두 구치부에 식립하였다. Branemark MKIII Groovy (Nobel Biocare Co., Kloten, Switzerland)와 Superline (Dentium Co., Seoul, Korea) 임플란트 중에서 환자의 여건과 보철적 환경에 따라 선택하였다.

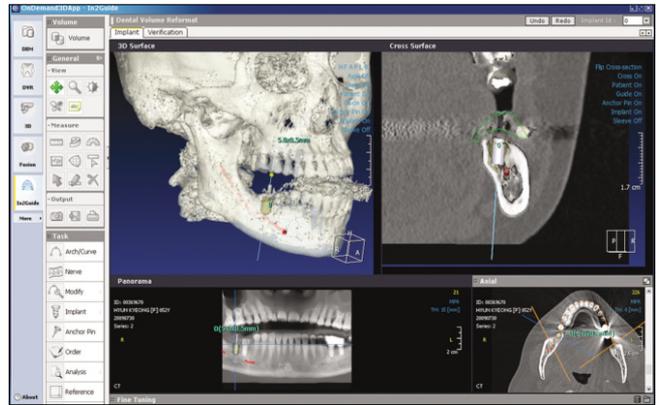


Fig. 1. The implant surgery simulation on the computer software.

2. 연구방법

1) 삼차원 CT 촬영 및 컴퓨터 소프트웨어를 이용한 식립 위치 결정

환자의 상, 하악 인상을 채득하여 진단모형을 제작하였다. 모형으로 임플란트 식립이 필요한 부위를 결정하고 보철계획을 수립하였다. 컴퓨터 시뮬레이션과 SLA surgical stent를 제작하기 위해 3차원 CT를 촬영하였다. 촬영된 영상은 digital imaging and communications in medicine (DICOM) file로 저장하여 컴퓨터 소프트웨어가 설치된 workstation으로 전송하였다.

컴퓨터 소프트웨어는 국내에서 개발된 Ondemand3D In2Guide (CyberMed Co., Seoul, Korea)를 사용하였다. 전송받은 DICOM file을 재구성하여 3차원 image을 만들고 프로그램으로 가상의 임플란트 시술에 대한 시뮬레이션을 시행하였다. 시행된 시뮬레이션은 data file로 저장하였다.(Fig. 1)

2) SLA surgical stent 제작 및 시술

시뮬레이션 file은 rapid prototyping (RP) machine에 입력된다. RP machine은 mm 이하 단위로 레진을 중합시켜 컴퓨터 상에서 가상으로 만든 물체를 같은 크기와 형태의 실물로 만들어 낼 수 있다. 컴퓨터 프로그램에 저장된 임플란트의 식립위치와 방향을 읽어서 해당 부위에 임플란트와 각종 드릴이 통과할 수 있도록 선택적으로 원통형의 공간을 만들어 준다. 이 부위에 실제 수술에서 guide 기능을 할 수 있도록 metal sleeve를 장착한다.(Fig. 2)

식립할 부위를 절개하여 피관을 거상하고 미리 제작한 SLA surgical stent를 구강 내에 적합시켰다. Surgical kit는 소프트웨어와 stent를 사용한 술식이 가능하도록 제작된 Quick Guide system (Osstem Co., Seoul, Korea)을 사용하였다.(Fig. 3) 임플란트 식립위치 drilling은 컴퓨터 시뮬레이

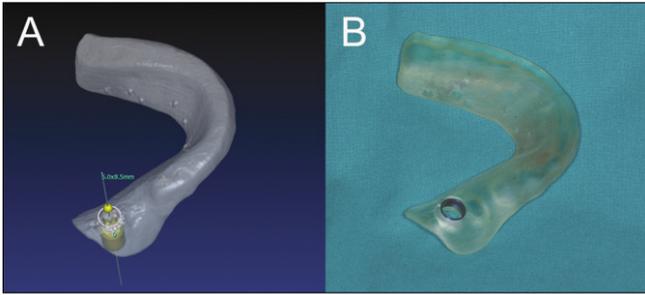


Fig. 2. Fabrication of the stereolithographic (SLA) surgical guide based on the computer simulation. A. Virtual SLA surgical stent on the computer program. B. Real SLA surgical stent made by rapid prototyping technique with metal sleeve for drill guide and implant fixture.



Fig. 3. Quick Guide system - surgical kit for the sequential drilling.

선으로 결정한 임플란트에 따라 surgical kit에 미리 정해진 순서대로 시행하였다. SLA surgical stent의 metal sleeve에 의해 drilling이 순차적으로 유도되고, 최종적인 임플란트 fixture도 metal sleeve를 따라서 유도되어 계획한 위치에 식립하였다.(Fig. 4)

3) 계획한 임플란트와 실제 식립한 임플란트의 비교 분석
 임플란트 시술 후 통상 2개월 이내에 부종 및 감염 등의 일반적인 합병증이 없는 환자에게 사전 동의 후 술후 3차원 CT를 촬영하였다. CT image는 DICOM file로 저장하고 Ondemand3D In2Guide를 사용하여 image fusion을 시행하였다.(Fig. 5)

Image fusion을 통해 수술 전후 환자의 영상을 중첩시켜 계획 상의 임플란트와 실제 시술한 임플란트의 위치를 3차원 image로 비교하였다. 임플란트 교합면의 중심점 차이, 근접부의 중심점 차이, 식립된 각도의 차이를 각각 측정했고, 상하악에 따른 차이, 전후방에 따른 차이를 구분하여 통계분석을 시행하였다.(Fig. 6)

4) 통계분석

계획한 위치와 실제 식립한 위치의 차이를 교합면, 근접

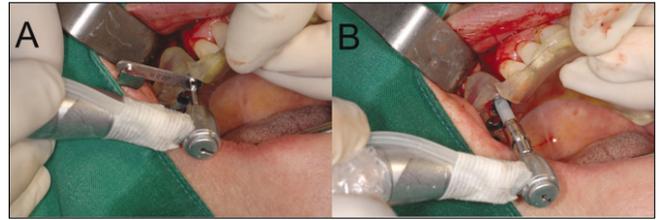


Fig. 4. Implant site preparation by the guidance of stereolithographic (SLA) surgical stent. A. Sequential drilling through the metal sleeve. B. Guiding of metal sleeve for the fixture insertion.

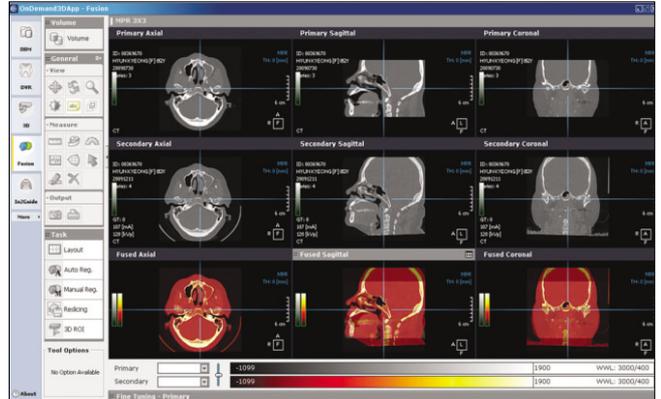


Fig. 5. Image fusion processing for the comparison of implant positions between the planned and the placed.

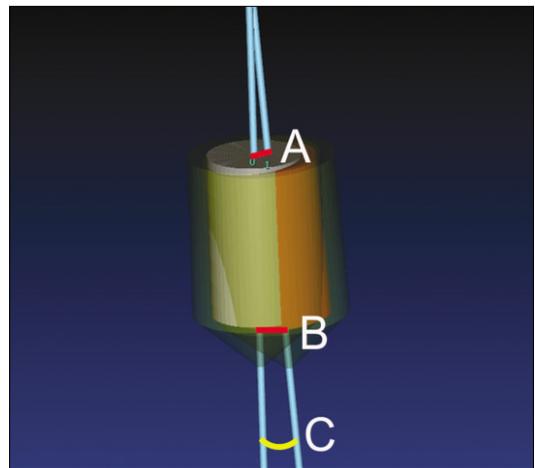


Fig. 6. The result of image fusion of two implants. A. Occlusal difference of fixture center (mm). B. Apical difference of fixture center (mm). C. Axis difference of implant fixtures (°).

부, 식립 각도를 측정하여 비교하였다. SAS system version 9.1 (SAS Institute Inc., North Carolina, USA)을 사용하여 통계분석을 실시하였다. 정규분포에 대한 적합도 검정 (Kolmogorov-Smirnov test)을 시행한 결과 측정값들이 정규성을 가지지 않았기 때문에 비모수 검정을 시행하였다. 교합면 및 근접부에서 수직, 수평오차와 상악, 하악의 식

립오차를 비교하기 위해 Mann-Whitney test를 시행하였고 구치부의 전방, 중간, 후방 부위에 따른 오차의 차이를 비교하기 위해 Kruskal-Wallis test를 시행하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 식립 간의 오차

열다섯 명의 환자에게 총 30개의 임플란트를 식립하였다. 술후 합병증이 나타난 증례는 없었고 양호한 치유양상을 보였다. 상악에 10개, 하악에 20개의 임플란트를 식립하였고 소구치 부위에 8개, 대구치 부위에 22개를 식립하였다.(Table 1)

컴퓨터 시뮬레이션으로 계획한 임플란트와 실제 식립한 임플란트 위치의 오차는 교합면에서 0.18 mm에서 2.92 mm까지 분포하였으며 평균 1.18 ± 0.73 mm였고, 근첨부에서는 0.23 mm에서 2.55 mm까지 평균 1.23 ± 0.67 mm였다. 계획한 임플란트와 실제 식립한 임플란트 간의 식립 각도오차는 평균 $3.25 \pm 3.00^\circ$ 였고 0.56° 에서 13.23° 까지 분포하였다.

2. 임플란트의 공간적 오차

각각의 임플란트의 교합면 및 근첨부에서의 오차를 수평 및 수직 방향으로 분해하여 분석하였다.(Fig. 7)

교합면에서 수평오차는 0.85 mm, 수직오차는 0.60 mm였다. 근첨부오차는 수평에서 0.91 mm 수직오차는 0.60 mm였다. 교합면 상에서 수평 및 수직오차는 유의한 차이가 없는 반면 근첨부에서는 수직 및 수평 방향에서 유의한 차이를 보였다.($P < 0.05$)

3. 식립 부위에 따른 오차

상악과 하악 따라 계획한 임플란트와 실제 식립한 임플란트는 교합면과 근첨부에서 유의한 차이를 보였다.($P < 0.05$) 식립각도에서는 유의한 차이를 보이지 않았는데 상악이 $1.89 \pm 1.14^\circ$, 하악이 $3.93 \pm 3.41^\circ$ 로 평균오차가 2.04° 였다. 임플란트 교합면 상의 오차는 상악이 0.63 ± 0.37 mm, 하악이 1.46 ± 0.71 mm로 평균오차가 0.83 mm로 나타났고, 근첨부에서는 상악이 0.79 ± 0.37 mm, 하악이 1.46 ± 0.68 mm로 평균오차가 0.67 mm였다.(Table 2)

Table 1. Demographic data of the patients for implant surgery

Patient No.	Age	Sex	Location of implant fixture
1	43	m	#47
2	50	m	#16, 17
3	60	m	#46, 47
4	60	m	#46, 47
5	61	f	#36
6	57	m	#45, 46
7	55	m	#24, 25, 26
8	51	f	#34, 35, 36, 37
9	60	m	#27
10	59	m	#36
11	59	f	#35, 36, 37, 46, 47
12	49	f	#26
13	67	f	#14, 15, 16
14	30	m	#36
15	52	f	#47

(m: male, f: female)

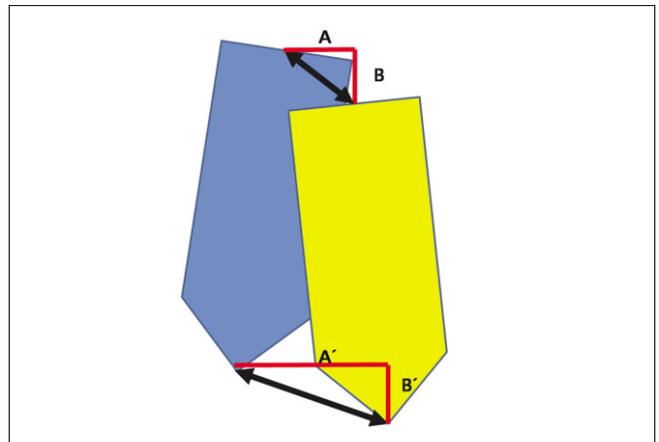


Fig. 7. The disassembling of errors into the two directions between two implant fixtures. A(A'). Lateral error of the occlusal (apical) center. B(B'). Vertical error of the occlusal (apical) center.

Table 2. The differences of errors between the maxilla and mandible for the angle and the center of occlusal and apical points

Selected arch	Number of implants	Angular error ($^\circ$)	Occlusal error (mm)	Apical error (mm)
Maxilla	10	1.89 ± 1.14	0.63 ± 0.37	0.79 ± 0.37
Mandible	20	3.93 ± 3.41	1.46 ± 0.71	1.46 ± 0.68
P value		0.0748	0.0009	0.0129

Table 3. The differences of errors according to the positions of implants for the angle and the center of occlusal and apical points

Position of implant	Number of implants	Angular error (°)	Occlusal error (mm)	Apical error (mm)
Anterior (premolars)	8	2.15±1.68	1.04±0.71	0.99±0.67
Middle (1st molars)	13	3.65±2.91	1.33±0.86	1.44±0.72
Posterior (2nd molars)	9	3.66±3.97	1.08±0.54	1.15±0.59
<i>P</i> value		0.4614	0.6083	0.166

30개의 임플란트 중에서 소구치에 식립한 것이 8개, 제1대구치가 13개, 제2대구치가 9개였다. 각각을 전방, 중간, 후방의 세 부위로 구분하여 각도, 교합면, 근첨부에서의 평균오차를 측정하였다. 각도는 전방, 중간, 후방에서 각각 2.15±1.68°, 3.65±2.91°, 3.66±3.97°였으며, 교합면 평균오차는 1.04±0.71 mm, 1.33±0.86 mm, 1.08±0.54 mm였고, 근첨부 평균오차는 0.99±0.67 mm, 1.44±0.72 mm, 1.15±0.59 mm였다. 이들 오차는 전방, 중간, 후방 위치에 따라 유의한 차이를 보이지는 않았다.(Table 3, *P*>0.05)

Ⅳ. 총괄 및 고찰

CT image는 중요한 해부학적인 구조물을 파악하거나 잔존 치조골의 조건이 양호하지 않을 때 중요한 진단자료로 사용할 수 있다¹. 기존의 surgical stent는 CT image 상에서 계획한 식립위치를 실제 수술에서 재현하기 위해 환자의 석고모형에서 resin으로 제작하였고 방사선 불투과성 물질을 삽입하여 식립위치를 표시하였다. 최근 computer aided design (CAD) - computer aided manufacturing (CAM) 기술이 도입되면서 식립계획을 실제 수술에서 재현하는데 좀 더 정확성을 기할 수 있게 되었다. 특히 CAD-CAM 기술은 환자의 악골을 3차원적인 모형으로 재현하여 다각도에서 관찰할 수 있게 해주기 때문에 정확하고 안전한 시술계획을 수립할 수 있다⁶. 본 연구에서는 CAD-CAM 기반의 surgical stent를 제작하기 위해 rapid prototyping 기술을 사용하였다.

Rapid prototyping은 빠르고 정확한 CAD-CAM의 한 방법으로 구강악안면외과 영역에서는 골결손부 재건, 악안면 연조직 수복, 상악동거상술 등에 응용하고 있다⁷⁻¹⁰. Rapid prototyping으로 제작한 SLA surgical stent를 임플란트의 임상 적용하고자 하는 시도가 이미 있었고 현재는 상업화되어 실제 술식에도 이용하기 시작했다¹¹⁻¹³. 기존에 사용하던 stent에 비해 SLA surgical stent가 우수한 정확도와 재현성을 가지려면 식립계획과 실제 수술간의 오차가 더 적어야 하는데 현재까지의 연구에서 기존의 surgical stent의 정확도를 분석한 자료나 SLA surgical stent와 비교한 자료는 충분하지 못한 형편이다¹⁴. Sarment 등¹²와 Kramer 등¹⁵은 SLA surgical stent가 기존의 surgical stent와 비교하여 우수한 정확도를 보인다고 발표하였으나 *in vitro* 상에서 이루어진 실험이고 같은 조건의 *in vivo* 실험에서는 정확도가

떨어지는 것으로 나타났다^{4,5}.

Schneider 등¹⁶은 CAD-CAM 기술로 제작한 surgical stent의 정확도에 관해 논문들을 정리하여 meta-regression analysis를 시행하였다. 연구에 따르면 교합면에서의 평균오차가 1.07 mm, 근첨부에서 1.63 mm이고 식립각도에서는 5-6° 정도의 오차를 보인다고 보고하였다. 본 연구에서는 식립한 임플란트의 교합면에서의 오차, 근첨면에서의 오차 그리고 식립각도의 오차를 중점적으로 분석하였는데 평균오차는 교합면에서 1.18 mm, 근첨부에서 1.23 mm, 식립각도의 오차는 평균 3.25°로써 현재까지 보고된 문헌들의 결과에 비해 비교적 우수한 결과를 보였다. 그러나, 최대오차가 교합면에서 2.92 mm, 근첨부에서 2.55 mm, 식립각도에서도 최대 13.23°까지 나타났다. 상악동이나 하치조신경과 같은 중요한 해부학적 구조물이 근접해 있는 증례에서는 합병증을 야기할 수 있을 정도의 오차이다. 증례에 따라서는 술자가 SLA surgical stent에 전적으로 의존하기보다 중요한 해부학적 구조물의 위치관계를 CT image를 통하여 술전에 충분히 숙지해야 하고 오차 자체의 감소뿐만 아니라 증례간 오차들의 편차도 줄이는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

오차의 방향은 교합면에서는 수평이나 수직오차에 유의한 차이가 없었던 반면에 근첨부에서는 수평 및 수직오차가 서로 유의한 차이를 보였다. 특히, 근첨부에서 수평의 오차(0.91 mm)가 수직오차(0.60 mm)보다 높게 나타났다. 수직오차는 식립이 계획보다 깊거나 얇게 되었을 때 발생하고, 수평오차는 계획보다 측방으로 변위되었을 때 발생하는 것을 감안할 때 근첨부의 오차는 얇거나 깊게 심어서 발생하기보다 교합면에서 생긴 수평의 오차가 각도의 변위로 인해서 근첨부에서 더 큰 오차로 확대된 것으로 생각된다¹⁷.

식립 부위에 따라서 오차가 유의한 차이를 보였다. 교합면에서는 평균오차가 하악이 평균 0.83 mm 정도로 상악에 비해 높게 나타났고(*P*=0.0009), 근첨부에서도 0.67 mm로 하악이 높은 오차를 나타냈다(*P*=0.0129). 통계적으로 상악이 유의하게 적은 식립오차를 보이고 있다. 교합면 및 근첨부에서 두 임플란트 간의 거리오차가 상악에서 적게 나타나는 것은 잔존 치아로 지지되는 SLA surgical splint가 치아뿐만 아니라 구개점막에 의해서도 광범위하게 지지되어 치아에 의해서만 지지되는 하악 증례에 비해 안정적으로

stent를 적합시키고 시술을 할 수 있기 때문으로 생각한다. Metal sleeve는 각종 drill과 임플란트가 통과할 수 있도록 어느 정도의 수평 이동을 허용하는데 식립각도의 오차는 여기서 발생한다. 식립각도의 평균오차는 3.25°로 나타났으며 기존의 surgical stent에서 각도오차를 측정 한 연구와 비교해 볼 때 비교적 적은 오차를 나타냈다¹⁸.

식립부위에 대한 개개의 오차에 있어서도 전방에 있는 소구치와 후방 구치간에 유의한 차이를 보이지는 않았다. 실제 수술에서 후방 구치로 갈수록 대합치와 개구량의 제한 때문에 hand piece가 대합치에 닿게 되어 metal sleeve로 정확하게 drill과 임플란트를 삽입하기 어려운 증례도 있었다. 그러나, 식립오차에서는 전후방에 따른 유의한 차이를 나타내지 않았고 상악 및 하악 부위에 따라서 정확도의 차이가 유의하게 나타났다.

V. 결 론

본 연구에서는 15명의 구치부 부분 무치악 환자에게 SLA surgical stent를 이용한 임플란트 식립술을 시행하고 술후 CT를 촬영하였다. 술전 자료와 술후 CT 자료를 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 오차를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SLA surgical stent를 이용한 임플란트 시술에서 술전 계획과 실제 식립체 간의 평균오차는 교합면에서 1.18 ± 0.73 mm, 근첨부에서는 1.23 ± 0.67 mm, 식립각도는 3.25 ± 3.00°로 비교적 양호하였으나, 안정적인 시술을 위해서는 오차를 더욱 작게 만들고 증례 간 오차의 편차를 감소시키기 위한 연구가 필요하다.
2. 부위별로 정확도를 비교한 결과 임플란트는 교합면보다 근첨부에서 측방의 오차가 크게 나타났고 상악이 비교적 높은 정확도를 나타냈다. 식립위치 간의 전후방적인 오차의 유의한 차이는 없었다.

References

1. Jacobs R, Adriansens A, Naert I, Quirynen M, Hermans R, van Steenberghe D. Predictability of reformatted computed tomography for pre-operative planning of endosseous implants. *Dentomaxillofac Radiol* 1999;28:37-41.
2. 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.
3. Jacobs R, Adriansens A, Verstreken K, Suetens P, van Steenberghe D. Predictability of a three-dimensional planning system for oral implant surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28:105-11.
4. Di Giacomo GA, Cury PR, de Araujo NS, Sendyk WR, Sendyk CL. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results. *J Periodontol* 2005;76: 503-7.
5. Vrielinck L, Politis C, Schepers S, Pauwels M, Naert I. Image-based planning and clinical validation of zygoma and pterygoid implant placement in patients with severe bone atrophy using customized drill guides. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2003;32:7-14.
6. Verstreken 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.
7. Bianchi SD, Lojaco A, Nevins M, Ramieri G, Corrente G, Martuscelli G, et al. The use of replicate resin models in the treatment of maxillary sinus augmentation patients. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1997;17:348-57.
8. Heissler E, Fischer FS, Bolouri S, Lehmann T, Mathar W, Gebhardt A, et al. Custom-made cast titanium implants produced with CAD/CAM for the reconstruction of cranium defects. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1998;27:334-8.
9. Runte C, Dirksen D, Deleré H, Thomas C, Runte B, Meyer U, et al. Optical data acquisition for computer-assisted design of facial prostheses. *Int J Prosthodont* 2002;15:129-32.
10. Stoler A. Helical CT scanning for CAD/CAM subperiosteal implant construction. *J Oral Implantol* 1996;22:247-57.
11. Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CE. Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:287-95.
12. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:571-7.
13. Voitik AJ. CT data and its CAD and CAM utility in implant planning: part I. *J Oral Implantol* 2002;28:302-3.
14. Valente F, Schirotti G, Sbrenna A. Accuracy of computer-aided oral implant surgery: a clinical and radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:234-42.
15. Kramer FJ, Baethge C, Swennen G, Rosahl S. Navigated vs. conventional implant insertion for maxillary single tooth replacement. *Clin Oral Implants Res* 2005;16:60-8.
16. 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.
17. D'haese J, van de Velde T, Elaut L, de Bruyn H. A prospective study on the accuracy of mucosally supported stereolithographic surgical guides in fully edentulous maxillae. *Clin Implant Dent Relat Res* [in pressv 2009 Nov 10].
18. Naitoh M, Aiji 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.