

Application of 3D Simulation Surgery to Orthognathic Surgery : A Preliminary Case Study

Jung-Hwan Lim, D.M.D., Hyun-young Kim, D.M.D., Young-Soo Jung, D.M.D., Ph.D., Hwi-Dong Jung, D.M.D., M.S.D.

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Yonsei University, Seoul, Korea

The aim of this report is to evaluate accuracy using 3D surgical simulation and digitally printed wafer in orthognathic surgery. 22-year-old female was diagnosed with mandibular prognathism and apertognathia based on 3D diagnosis using CT. Digital dentition images were taken by laser scanning from dental cast, and each STL images were integrated into one virtual skull using simulation software. Digitalized intermediate wafer was manufactured using CAD/CAM software and 3D printer, and used to move maxillary segment in real patient. Constructed virtual skull from 1 month postoperative CT scan was superimposed into simulated virtual model to reveal accuracy. Almost maxillo-mandibular landmarks were placed in simulated position within 1 mm differences except right coronoid process. Thus 3D diagnosis, surgical simulation, and digitalized wafer could be useful method to orthognathic surgery in terms of accuracy.

Key Words Orthognathic Surgery · Three-Dimensional Surgery · Stereolithography · Pre-Surgical Simulation · Three-Dimensional Cephalometry.

Received: July 1, 2014 / Revised: July 11, 2014 / Accepted: July 15, 2014

Address for correspondence: Hwi-Dong Jung, D.M.D., M.S.D.

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Yonsei University College of Dentistry, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, Korea

Tel: 02-2228-3141, Fax: 02-2227-7825, E-mail: cancer7@yuhs.ac

서론

악안면 영역의 형태와 기능을 결정하는 세 가지 요소는 안면 연조직, 경조직, 그리고 치열이다. 이들 사이의 부조화는 악안면 기형의 형태로 나타나며, 악교정수술은 세 요소의 이동을 통해 조화로운 관계를 회복시키는 술식이다. 정확한 악교정수술을 위해서는 수술 전 정확한 진단 및 수술 계획이 필요하며 이를 위한 적절한 정보수집과 분석 과정이 필요하다. 두부계측 방사선 사진을 기반으로 한 2차원 평면 기준의 진단 및 치료계획을 수립하고, 1석교모형상의 모의수술을 통한 수술용 장치를 제작하고 실제 수술에 적용하는 과정은 과거로부터 현재까지 30년 이상 안정적으로 이용되고 있는 방법이다.²⁻⁴

이와 같은 2차원 기반의 악안면 기형 분석은 장기간의 연구결과가 누적되어 있어 예측 가능하고 신뢰할 수 있으며 쉽고 빠르게 적용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 심한 악안면 기형이 존재하는 경우 두부계측 방사선 사진 상 구조물의 중첩으로 인해 분석

이 어렵고 수술 후 나타나는 3차원적 변화를 평면상에서 예측해야 하기에 이를 분석을 시행하는 술자의 경험에 의존해야 하는 경우가 많아, 경우에 따라 예상치 못한 결과를 얻는 경우도 있다.⁵

3차원 영상 처리 기법의 발달에 따라 이러한 2차원 기반의 진단 및 수술 계획 수립의 한계를 극복하기 위한 3차원 기반의 진단 및 수술이 최근 많이 시도되고 있다. 특히 CT 이미지의 정밀도 향상과 3D 프린터를 이용한 입체인쇄술의 발달로 환자 두개골, 악골과 악궁의 정밀한 3D 모형을 제작하고, 이를 기반으로 한 진단 및 수술 계획의 수립, 수술용 교합 장치의 제작의 임상적 이용이 가능한 수준까지 발달이 이루어졌다.⁶⁻⁸ 수술 전 촬영한 CT 영상을 이용하여 환자의 두개안면골을 재구성하고 이를 진단에 사용함으로써 중첩으로 인한 부정확성을 배제할 수 있고 수술 후 안모의 변화 및 악골의 양상에 대한 예측 및 직관적인 인지가 가능해지며,^{9,10} 재 구성된 환자의 두개 안면골을 이용하여 3차원 기반의 모의 수술을 시행하고 이를 바탕으로 3D 프린

팅을 통해 수술용 교합 장치를 제작하여 모의 수술을 실제 수술로 옮김으로써 기존의 석고 모형 및 교합기를 이용한 과정을 생략할 수 있다.

이에 본 연구에서는 3차원 기반의 진단 및 수술 계획 수립, 3D 프린팅으로 제작한 수술용 교합 장치를 적용하여 시행한 악교정수술의 술 후 정확성, 예측성 및 유용성에 대해 초기보고하는 바이다.

증례 보고

22세의 여자 환자가 앞니가 물리지 않으며 아랫니가 들어갔으면 좋겠다는 주소로 본과에 내원하였다. 이에 CT 촬영을 포함한 통상의 술전 검사를 시행하였으며 3차원 물체로 재구성한 환자의 두개안면골에 대해 악안면기형 진단 및 분석을 시행하였다. Simplant(simplant pro, Materials®, Belgium)를 이용하여 분석한 결과 하악골 전돌중, 개교증으로 진단되었으며 상악골 후방의 상방 이동을 동반한 하악골 후방 이동을 위한 양악동시 악교정수술의 시행을 계획하였다 (Fig. 1).

CT DICOM 파일을 기반으로 환자의 두개안면골을 3차원 물체로 재구성 하였으며, 치아 부분은 레이저 스캔 이미지를 중첩함으로써 정확한 치열 이미지를 지닌 가상의 두개안면골을 제작



Fig. 1. An 22-year-old female with Mandibular prognathism, apertognathia before treatment. (A) Facial photographs. (B) Intraoral photographs, lateral cephalometric radiograph and panoramic view.

하였다. 3차원 두부계측 분석에 기반해 프로그램상에서 상악골 이동을 계획 및 시행하고, 하악골과 이동된 상악골 이미지에 CAD/CAM 프로그램을 이용하여 가상의 수술용 교합 장치를 제작하였다. 이를 3D 프린팅을 통해 제작함으로써 실제 수술 중 상악골을 재위치 시키기 위한 기준으로 사용하였다 (Fig. 2).

제작된 수술용 교합 장치를 이용하여 통상의 양악 동시 악교정수술을 진행하였으며 수술 후 안모와 교합 양상이 개선되었음을 확인할 수 있었다 (Fig. 3). 수술 전 모의수술과 수술 후 한 달 째에 촬영한 CT에서 각각 가상모형을 제작하고 이를 두개저를 바탕으로 중첩하여 상하악골의 위치를 비교 분석하였다.

Chin top의 위치는 수술 전 simulation으로 설정한 위치와 0.6mm 이내에 위치함을 확인할 수 있었다 (Fig. 4). 우측 coronoid process에서 3mm 이상의 오차가 존재하였으나, 이를 제외한 전반적인 상하악골의 외형은 1mm 내외의 오차 범위 내에 존재함을 확인하였으며, 상하악골이 술전 계획한 위치에 적절히 위치되어 비교적 정확한 수술이 진행되었음을 확인할 수 있었다.

고 찰

악안면기형의 분석을 위해 사용되는 두부계측 방사선사진은 3차원 물체를 2차원 평면으로 옮기기 때문에 수직적, 수평적 오차가 발생할 수 있으며 촬영 중 환자 두부의 위치가 변함에 따라



Fig. 2. Virtual model surgery procedure and wafer fabrication. (A) Repositioning of the maxilla according to the STO in a 3D virtual skull. (B) Fabricating intermediate surgical wafer with CAD/CAM program (C) Setback of mandible according to the STO in a 3D virtual skull.



Fig. 3. Afterorthognathic surgery, mandibular prognathism and apertognathia were corrected. (A) Facial photographs. (B) Intra-oral photographs, lateral cephalometric radiograph and panoramic view.

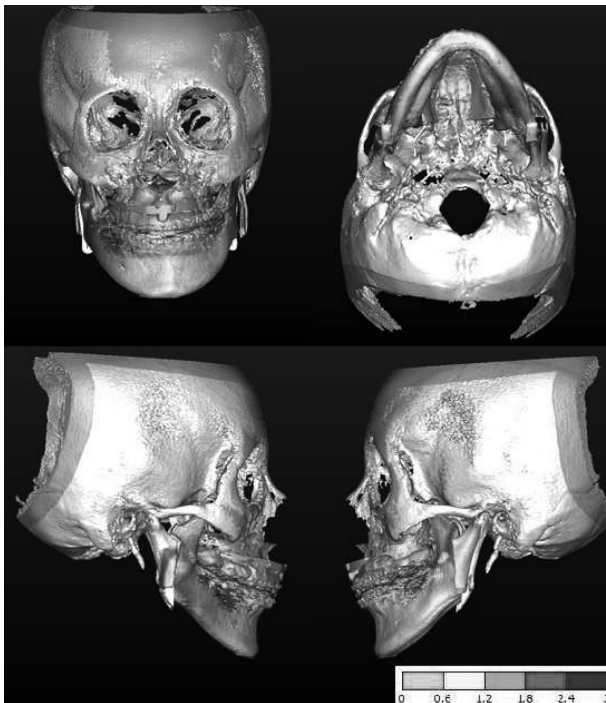


Fig. 4. Superimposition of pre-operation 3D virtual skull and post-operation 3D virtual skull and Color scale of difference between two different object. Anteroposterior position and overall contour of post-operative mandible is in good accordance with pre-operation 3D simulation.

왜곡이 발생할 수 있고,안면 비대칭이 존재하여 좌, 우측 구조물이 정중시상면에서 중첩되지 않을 경우 다른 구조물과 중첩되어 분석이 부정확해질 수 있다.서로 다른 방향에서 촬영한 몇 장의 평면 방사선 사진을 이용하여 3차원 구조에 대해 분석하고 수술 계획을 수립하기 때문에, 수술에 의한 안모 변화 및 안모의 최종적인 외형 예측이 어렵다는 난제를 안고 있다.또한 이를 실제 수술로 옮기기 위하여 교합기와 석고 모형을 이용한 수술용 교합 장치의 제작을 필요로 하는데, 이 과정에서 모형의 교합기 장착, 아크릴릭 레진 상 제작 과정에서 오차가 발생할 가능성이 있으며 이러한 오차가 누적될 경우 만족스럽지 못한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

두부계측방사선사진을 이용한 평면 기반의 악안면기형 분석의 단점을 해소하기 위한 3차원 기반의 simulation을 시행하기 위해서는 경조직, 연조직 및 치열의 정확한 형태를 포함하는 가상의 두개안면골의제작 과정이 필요하다. 영상 획득 시 두부규격방사선사진, 임상사진, 상하악 모형 등을 채득하는 2차원 진단과 달리 3차원 진단 시행 시에는 CT를 이용한 virtual model, 치아를 포함한 악궁의 scanning image, stereophotography 등을 이용한 임상사진 등이 필요하며, 각각의 영상을 하나의 가상모델로 제작하기 위한 image integration 과정이 반드시 필요하다.¹¹

본 증례의 경우 악교정수술에 의한 하악골의 위치 및 외형 변화는 하악 근돌기를 제외하면 수술 전 계획한 3D 모의 수술과 1mm 범위에서 일치하는 결과를 보여, 3차원 기반의 모의 수술 및 수술용 교합장치 제작이 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 비록심미와 기능에 큰 영향을 미치지 않는 위치지만 하악골 근돌기의 위치가 모의 수술 계획과 3mm 이상의 차이가 있음을 확인되었으며, 이는 CT 영상을 3차원 물체로 재구성하는 과정에서 CT의 threshold 설정에 따라 발생하는 이미지의 왜곡,⁹ 재구성된 두개안면골 상에서 실제로 존재하지 않는 면이나 가상으로 형성된 소공,¹² CT 영상에서 치아의 보철물, 교정장치 등에 의해 발생하는 streak beam artifact, 악궁의 3 차원 이미지 획득 시 발생하는 오차, 그리고 각각의 영상을 중첩하는 과정에서 발생하는 오차가 원인이 될 수 있을 것으로 생각되었다.¹³

현재 3차원 기반의 악안면기형 분석을 진행하기 위해서는 CT의 DICOM file을 처리하여 virtual model을 제작할 수 있는 software가 필요하며, dentition, stereophotography image의 채득을 위한 scanning 기계, 그리고 각각의 독립된 image를 하나로 integration할 수 있는 software가 필요하다. 또한, 실제 수술로 적용하기 위해서는 수술용 장치 제작을 위한 CAD/

CAM software 및 3D printer 등의 기계가 추가로 필요하다. 즉, 현재는 기존까지 이용되지 않던 다양한 soft/hardware가 필요하고, image integration and segmentation 과정을 위한 추가적인 시간과 인력이 필요하며 기존의 방법보다 비용이 많이 발생하는 단점이 존재한다.¹³ 하지만, 본 증례에서 살펴본 바와 같이 3차원 기반의 방법은 2차원 두부규격화방사선사진 진단의 한계적인 중첩의 해소를 통해 정확한 분석이 가능하고, 치열을 포함한 악골을 계획된 위치에 정확히 위치시킬 수 있는 능력이 탁월하며, 안정적인 결과를 확보할 수 있는 방법이다. 또한, 술자가 수술을 진행하기 전 수 차례의 모의수술이 가능하여 합병증 감소를 위한 골절제술 design의 변형, 골절제량의 최소화, 수술시간 감소가 가능하도록 하고, 수술 후 변화될 악골과 안모의 최종 형태에 대한 직관적인 인지를 가능하게 하는 장점이 있다. 이러한 장점은 악안면기형이 심한 경우 정확한 3차원적 결과를 예측하고 보다 나은 수술 결과를 얻는 데 매우 유리한 방법이 될 수 있을 것이다.

결 론

2차원기반의 악안면 기형의 진단 및 수술은 오랜기간 많은 술자에 의해 사용되고 있는 방식으로 비교적 신뢰할 수 있는 방법이다. 하지만 구조물의 중첩과 불확실한 술 후 결과 예측이라는 한계가 존재하므로 이런 불확실성을 배제 할 수 있고, 술 후 결과를 보다 정확하게 예측할 수 있으며, 또한 술 후 결과에 대한 직관적인 이미지화가 가능하므로 술 후 안모에 대한 환자와 의료진 간의 양방향 소통을 원활하게 할 수 있다 장점을 가지고 있다는 점에서 3차원 기반의 진단 및 모의 수술은 악교정수술의 피할 수 없는 발전 방향이 될 것으로 보인다. 추후 더 많은 3차원 기반의 수술 계획을 통한 악교정수술 증례에 대해 정확성 평가가 이루어지고, 현재 발견된 문제점들을 해결한다면 3차원 기반 진단을 통한 악안면기형의 치료는 정확하고 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Kolokitha OE, Topouzelis N. Cephalometric methods of prediction in orthognathic surgery. *J Maxillofac Oral Surg* 2011;10:236-45
2. Ellis E, 3rd, Johnson DG, Hayward JR. Use of the orthognathic surgery simulating instrument in the presurgical evaluation of facial asymmetry. *J Oral Maxillofac Surg* 1984;42:805-11
3. Marko JV. Simple hinge and semiadjustable articulators in orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986;90:37-44
4. Ellis E, 3rd. Accuracy of model surgery: evaluation of an old technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg* 1990;48:1161-7
5. Sarver DDM. *Esthetic Orthodontics and Orthognathic Surgery* 2000
6. Song KG, Baek SH. Comparison of the accuracy of the three-dimensional virtual method and the conventional manual method for model surgery and intermediate wafer fabrication. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;107:13-21
7. Swennen GR, Mollemans W, De Clercq C, Abeloos J, Lamoral P, Lippens F, et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 2009;20:297-307
8. Swennen GR, Mollemans W, Schutyser F. Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2080-92
9. Kawamata A, Arijji Y, Langlais RP. Three-dimensional computed tomography imaging in dentistry. *Dent Clin North Am* 2000;44:395-410
10. Schendel SA, Jacobson R, Khalessi S. 3-dimensional facial simulation in orthognathic surgery: is it accurate? *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71:1406-14
11. Nkenke E, Zachow S, Benz M, Maier T, Veit K, Kramer M, et al. Fusion of computed tomography data and optical 3D images of the dentition for streak artefact correction in the simulation of orthognathic surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:226-32
12. Choi M, Lee S, Huh K, Yi W, Choi S. 구강악안면영역의 3 차원 CT 영상 재형성시 역치 및 불투명도에 대한 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 2009;39:13-8
13. Plooij JM, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2011;40:341-52