

악교정수술 골절단술시 컴퓨터 네비게이션 시스템의 이용: Technical Note

김문기 · 강상훈 · 최영수 · 김정인 · 변인영 · 박원서¹ · 이상휘²

국민건강보험공단 일산병원 구강악안면외과, 연세대학교 치과대학 ¹통합진료과, ²구강악안면외과학교실

Abstract

USE OF A COMPUTER NAVIGATION SYSTEM FOR OSTEOTOMIES IN THE ORTHOGNATHIC SURGERY: TECHNICAL NOTE

Moon-Key Kim, Sang-Hoon Kang, Young-Su Choi, Jung-In Kim, In-Young Byun, Won-Se Park¹, Sang-Hwy Lee²

Department of Oral & Maxillofacial Surgery, National Health Insurance Corp. Ilsan Hospital, Goyang, Korea

*¹Department of General Dentistry, ²Department of Oral & Maxillofacial Surgery,
College of Dentistry, Yonsei University, Seoul, Korea*

Surgery with the computer navigation system can make it possible to identify important anatomical structures which are difficult to be confirmed with the naked eye in the operation, and has extended their applications in various surgical fields. The head and neck surgery especially requires detailed anatomical knowledges and these knowledges have influences on postoperative functions and esthetics of a patient. In the orthognathic surgery, we should take osteotomies in the precise locations of the jawbones and move segments to the intended positions. There are so many important anatomical structures around the osteotomy-sites in the orthognathic surgery that the prevention of damage to these structures to obtain satisfactory results without any complication. There are vessels of the pterygoid plexus posterior to the pterygoid plate in the maxilla and the mandibular nerve enters the mandibular foramen in the mandibular ramus. These locations should be confirmed perioperatively to avoid any injury to these structures. The navigation-assisted surgery may be helpful for this purpose. We performed navigational orthognathic surgeries with preoperative CT images and obtained satisfactory results. The osteotomy was performed in the proper location and damaging the surrounding important anatomical structures was avoided by keeping the saw away from them with the real-time navigation. It may be required to develop proper devices and protocols for the navigation-assisted orthognathic surgery.

Key words: Computerized navigation surgery, Optical tracking system, Orthognathic surgery, Osteotomy

1. 서 론

컴퓨터 네비게이션 수술은 술전 영상 검사 자료를 술중 이용하여 육안으로 확인하기 힘든 중요 해부학적 구조물을 실시간 영상을 통해 확인하면서 가능한 최소 침습법으로, 수술전 치료 계획에 맞춰 수술을 진행할 수 있어 여러 수술 분야에서 그 응용 범위가 점차 넓어지고 있으며, 이에 따라 구강악안면외과 영역에서도 그 이용이 점차 확대되고 있다.¹⁾

정위법(stereotaxy)이라 함은 삼차원적 좌표를 이용하여 심부에 위치한 중요 해부학적 구조물에 접근하는 수술법으로,²⁾ 1906년 Horsley 경과 Clarke에 의해 처음 동물 실험이 시행되었으며,³⁾ 1947년 Spiegel과 Wycis가 프레임을 이용한 정위법을 실제 사람 환자에서 처음 사용하였다고 보고하였다.⁴⁾ 1980년대 CT 또는 MRI를 이용한 정위법 수술이 개발되기 시작하여, 1987년 와다나베는 frameless stereotactic surgery에 대해 처음 보고하며 neuronaviga-

* 본 연구는 국민건강보험공단 일산병원의 연구비 지원으로 이루어졌음.

tion란 용어를 사용하였고,⁵⁾ image-guided surgery 또는 computer-assisted surgery 등으로도 불리우고 있다.⁶⁾ 이후 많은 외과 수술 영역에서 이용되어 신경외과, 정형외과 등은 물론이고 두경부 외상 환자 재건, 임플란트 식립술 등에서도 이용되고 있다.⁷⁻¹²⁾

특히 두경부 영역 수술에 있어서 두경부 해부학에 대한 자세한 지식과 그 해부학적 구조물의 기능 및 심미적 중요성에 대한 정확한 이해가 매우 중요하며, 이를 통한 정확하고 섬세한 수술이 보다 향상된 수술 결과를 가져올 수 있다.¹³⁾ 악안면외과의 수술도 예외는 아니며 그 중 악교정수술은 상악골을 정확한 부위에서 골절단술을 하여 원하는 위치로 정확히 이동하는 것이 중요하다. 상악골 골절단술에서 상악골 이돌관 후방으로 많은 혈관이 분포되어 있으며,¹⁴⁾ 하악골 상행지 수술에서는 하악공으로 들어가 하악관을 주행하는 하악신경의 위치 확인이 매우 중요하다(Fig. 1).^{15,16)} 이와 같이 골절단면 주위로 중요 해부학적 구조물들이 많이 분포하고 있어 이에 대한 손상을 주지 않는 것이 합병증이 없는 양호한 결과를 얻기 위해 매우 중요하다.

이에 저자 등은 악안면 분석을 위해 촬영한 전산화단층촬영(CT) 영상을 통한 컴퓨터 네비게이션 시스템을 이용하여 악교정수술 골절단술시 양호한 결과를 얻었기에 그 술식을 보고하고자 한다.

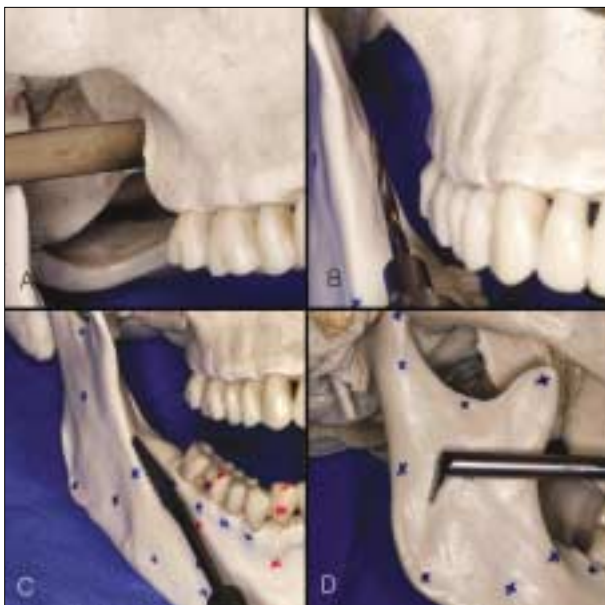


Fig. 1. Anatomical structures which must be approached with caution during the orthognathic surgery. A, Pterygomaxillary junction in the Le Fort I osteotomy; B, Mandibular foramen in the sagittal split ramus osteotomy; C, Location of the reciprocating saw as lateral as possible in the sagittal split ramus osteotomy to prevent impingement on the mandibular nerve; D, Antilingula in the transoral vertical ramus osteotomy.

II. 네비게이션 수술의 원리

모니터 상의 환자의 영상학적 자료에 수술 기구 등을 실시간 위치시키기 위한 컴퓨터 네비게이션 시스템은 일정 삼차원적 좌표계에 환자의 수술 부위와 기구를 동시에 인지하는 인식 가능한 카메라를 이용한다.¹⁷⁾ 이 때 환자의 위치 변화에 따른 오차를 없애기 위해 수술 부위, 즉 두부를 frame 상에 고정하는 방법(frame-based system)과 dynamic reference frame (DRF)을 두개골 등 특정 부위에 견고히 고정하여 수술 중 위치 변화가 가능한 frameless system 등을 이용할 수 있다.¹⁸⁾ 악교정수술 등 구강악안면외과 영역의 수술시에는 기구 접근 및 시야 확보를 위해 환자 두부를 수술중 용이하게 움직일 수 있어야 하기에 frameless system을 이용하여야 한다. 광학 tracking system을 이용하여 세계의 나란하지 않은(non-collinear) 포인트를 인식하여 컴퓨터 상의 영상 자료와 일치시키는 작업이 필요하다. 환자의 두부 위치를 인식시키기 위해서는 DRF를 환자 두부에 고정시키며, 이를 이용하여 환자의 CT 영상 자료와 실제 악골의 위치를 일치시킨다. 사용 기구 또한 그 위치를 컴퓨터 상의 CT 영상 자료에 인식시키기 위해 reflector ball 등 tracking marker를 부착한다(Fig. 2).

네비게이션 적용 순서는 각 시스템마다 약간의 차이가 있을 수 있으나 일반적으로 영상 채득, 네비게이션 장비로의 데이터 전송, 중첩을 위한 술전 기준점 설정, DRF 고정, 실제 환자의 해부학적 구조물에 대한 영상내 위치 등록, probe를 이용한 평가, 수술 기구 장착 및 calibration, 수술 적용 등의 순서에 따라 진행하며(Fig. 3), 구체적인 적용 내용은 다음과 같다.

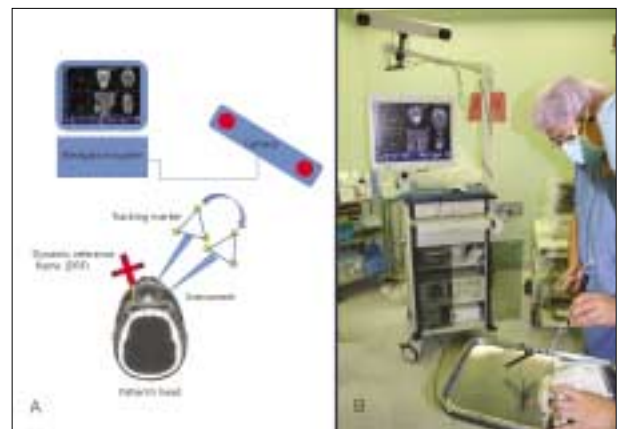


Fig. 2. A, Schematic diagram of the navigation system; B, Its simulated application to a skull model.

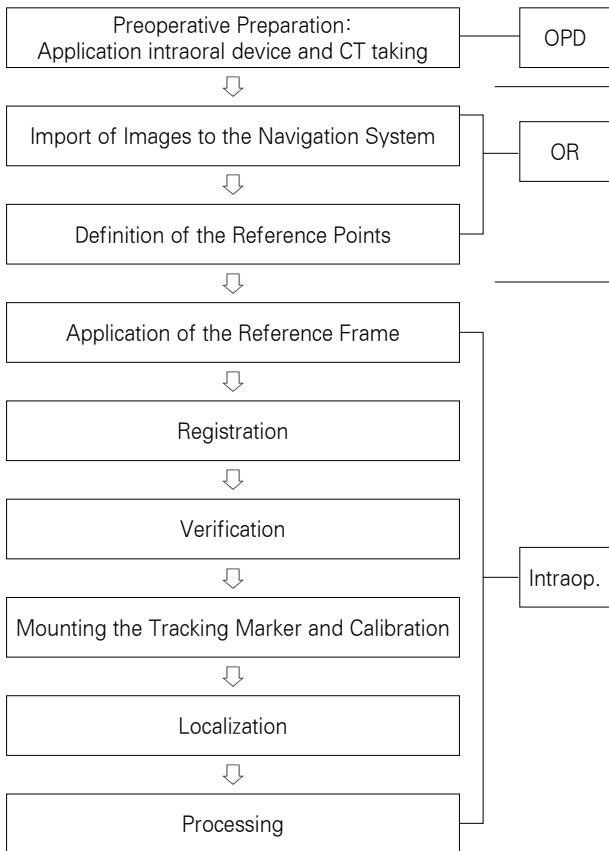


Fig. 3. Sequence in the navigation surgery.

Ⅲ. 환자 및 방법

1. 술전 준비

2008년 7월에서 10월까지 국민건강보험공단 일산병원 구강악안면외과에 내원하여 골격성 부정교합으로 진단되어 양악 악교정수술 예정인 환자 중 총 5명을 대상으로 하였다. 필요에 따라 환자 악골내 CT에서 인식 가능한 미니스크류 등을 식립하고 통상의 방법으로 CT를 촬영한다. CT 영상은 국민건강보험공단 일산병원 영상의학과에 설치되어 운영 중인 SOMATOM Sensation (64-slice CT, Siemens, Germany)를 사용하였다. 획득한 CT 영상 자료를 네비게이션 프로그램인 CBYON Suite™ navigation system (Cbyon, Inc., California, USA)에 전송하였다.

2. Reference points 설정(definition)

네비게이션 프로그램상으로 영상 자료를 불러들인 후 영상에서 정확한 위치 확인이 가능한 협측 교정용 브라켓 또는 사전에 식립된 미니스크류 등을 이용하여 네비게이션 등록을 위한 3점 이상의 기준점(reference points)을 설정한다(Fig. 4).

3. 수술 시작

비기관내삽관을 통한 전신마취를 시행하고 통상의 방법에 따라 환자 두부를 소독 및 드레이핑을 시행하고 국소마취제 주입 후 절개하여 수술 부위를 노출시킨다.



Fig. 4. View of images showing the definition of reference points before operation using orthodontic brackets A or orthodontic mini-screws B.



Fig. 5. Application of the dynamic reference frame (DRF) and registration of the pre-defined reference points with the probe. A, Fixation of the DRF and application of the probe; B, Intraoperative photograph showing the registration procedure; C, View of image indicating the relative position of DRF and the probe (in the left column), the serial position of the pre-defined reference point (in the central and the right column), and the estimated registration error value (in the right side of the lower row).

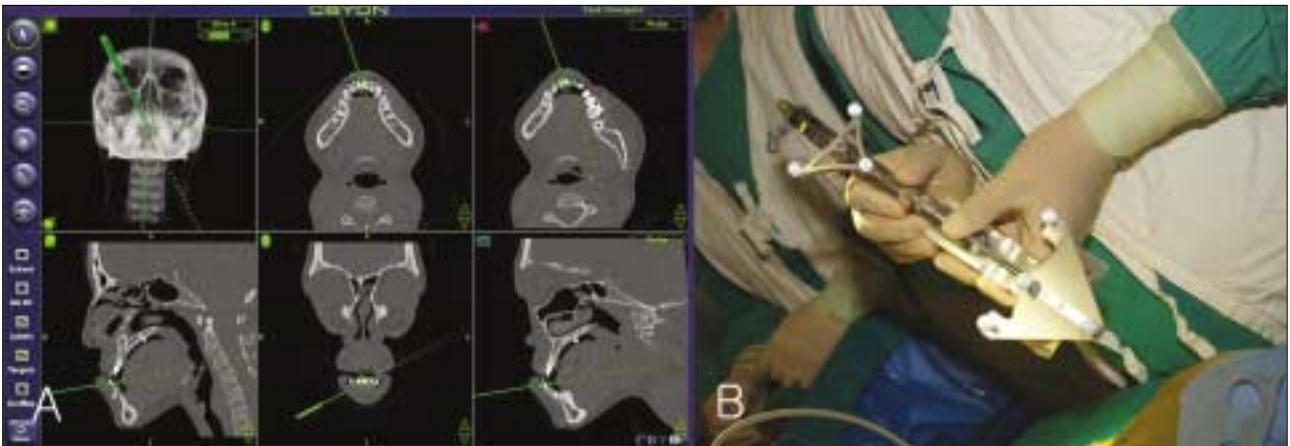


Fig. 6. Verification with the probe showing no significant discrepancy between the well-recognized intraoperative anatomic structure and its corresponding location in the image A and an intraoperative photograph showing the calibration of an instrument attached with the tracking balls B.

4. Reference frame 장착 및 등록(registration)

상악골의 경우 Le Fort I 골절단선 상방인 관골 돌기 (zygomatic process), 하악골의 경우 이부 부위에 Kirschner's wire 등을 이용하여 악골내에 움직이지 않게 식립, 고정을 시행하고, DRF를 K-wire에 장착하여, 모니터 상에 DRF가 인식되게 카메라 위치를 확인 조절하고 probe를 이용하여 위 2) 항에서 설정된 reference points 를 등록한다(Fig. 5).

5. 평가(verification), 기구 장착 및 calibration

Probe를 노출되어 육안으로 확인 가능한 해부학적 구조물에 위치시켜 모니터 상의 CT 영상에서의 위치와 동일한

지 확인한다. 수술용 saw 등 수술 기구에 tracking balls, 즉 reflectors가 장착된 adapter를 장착한 후 calibration을 시행한다(Fig. 6).

6. 위치 확인(localization) 및 수술 적용

실제 수술 부위에 기구를 위치시키고 실시간으로 네비게이션 시스템 모니터 상에서 수술 부위 및 해부학적 구조물을 확인하면서 시술을 시행한다(Fig. 7). 상악골 Le Fort I 골절단술 시에는 curved osteotome에 adapter를 장착하고 pterygomaxillary junction 부위에 osteotome이 정확히 위치되는지를 모니터로 확인하여 골절단술을 시행한다. 하악골 상행지 수직골절단술(vertical ramus osteotomy: VRO) 시에는 oscillating saw에 adapter를 장착하고

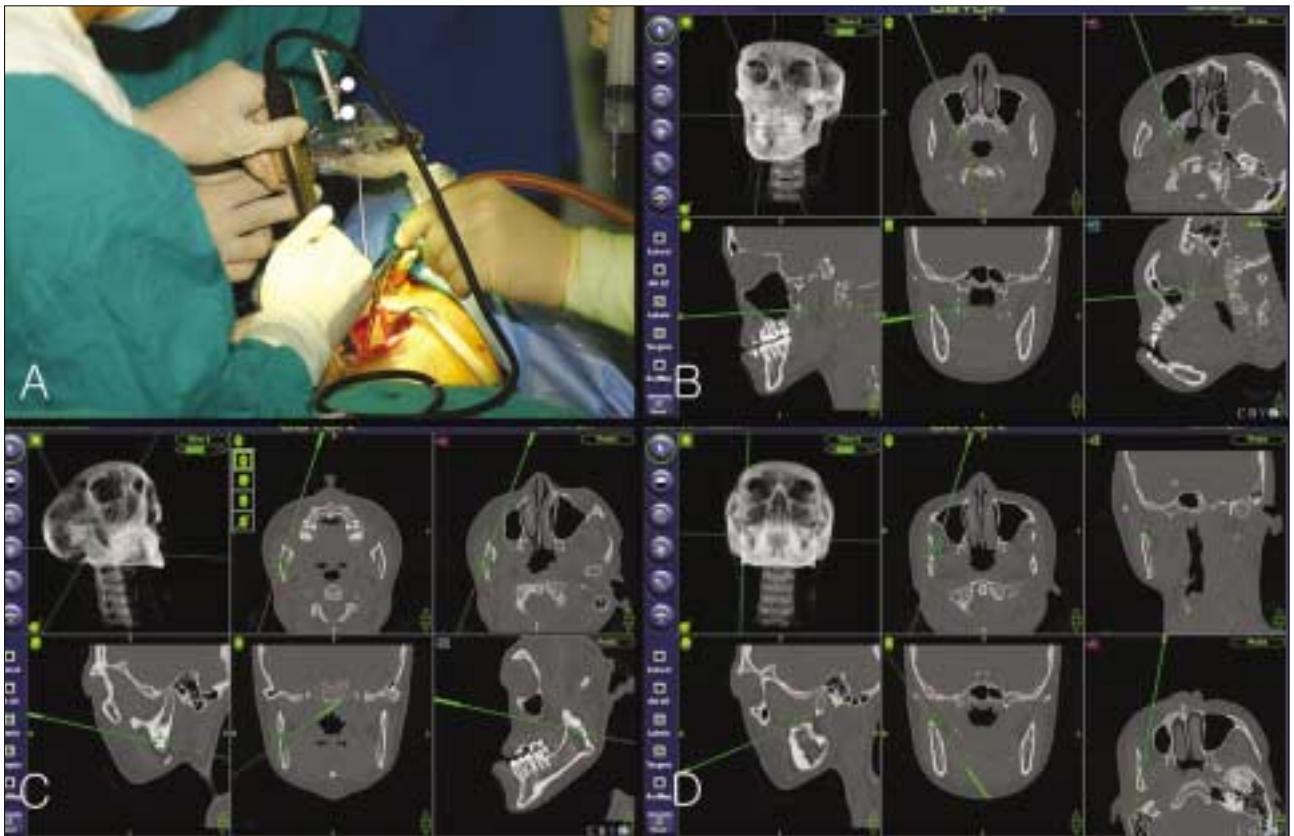


Fig. 7. Intraoperative photograph showing the application of an instrument with the tracking balls A and images of the instrument locations in the pterygomaxillary junction in the Le Fort I osteotomy B, the antilingula in the transoral vertical ramus osteotomy C, and the mandibular foramen in the sagittal split ramus osteotomy D.

상행지 외측면 antilingula 부위에 위치시켜 모니터를 보며 내측 하악공 위치 후방에서 골절단술을 시행한다. 또한 하악골 상행지 시상골절단술(sagittal split ramus osteotomy: SSRO) 시에도 Lidermann bur를 장착한 외과용 드릴에 adapter를 장착하고 모니터 상에서 bur 끝이 상행지 내측 하악공 상방으로 위치되도록 조절하여 하악공으로 들어가는 하악 신경의 손상없이 골절단술을 시행할 수 있다. 또한 이어서 reciprocating saw를 이용해서는 하악지 전연 시상골절단술 연결시 하악관에서 가능한 외측으로 saw blade가 내려오도록 모니터를 보며 조절할 수 있다.

IV. 결 과

악교정수술을 수행하면서 총 5증례에서 네비게이션 시스템을 이용하였으며, 증례가 늘어남에 따라 점차 네비게이션 시스템 적용 시간은 단축되었다. 술전 네비게이션 준비 및 설정 단계(영상 입력 및 등록 등)에서 약 10분 정도의 시간이 소요되었으며, 수술 시작 후 K-wire 고정 및 RF 장착에 첫 증례를 제외하고 추가로 약 10분 정도가 소비되었다. 술

중 위치 확인 및 검증 후 골절단술 개시까지 평균 약 10분 정도의 추가 시간이 소요되었다. 한 증례에서 RF가 느슨해져서 재장착 후 re-registration하기 위해 약 30분 정도의 추가 수술 시간 증가가 야기되었다. 수술 개시 후 골막거상기 및 osteotome 이용시에도 네비게이션 시스템을 참조하여 심부를 확인하면서 수술을 진행할 수 있어 술식 적용이 보다 정확하고 원활하게 이루어질 수 있었다. Calibration 된 saw로 절단술을 시행하는 경우 실시간으로 수술 기구 끝점 위치를 확인할 수 있었다. 수술시 이따금 optical tracking camera가 RF를 인식하지 못하는 경우가 발생되었는데, 이는 환자의 두부 위쪽에 위치하는 보조의와 간섭으로 인한 것으로 tracking camera의 위치와 각도를 수정하는 것으로 해결되어 시간 소요 및 수술 장애 등은 크게 발생하지 않았다.

V. 고 찰

악안면부 수술시 중앙절제술, 외상 환자 재건술, 임플란트 시술 등에서의 네비게이션 시스템의 이용에 대해서는 꾸준

한 보고가 있어왔으나,¹⁹⁻²⁴⁾ 악교정수술에서의 네비게이션 시스템의 이용에 대해서 연구가 거의 없어 왔다. 이는 고가의 장비 사용과 기존의 프로그램 부족, 술중 정확성에 대한 불확실성 및 술자의 높은 숙련도 요구 등이 원인이라 할 수 있다.¹⁸⁾ 특히 악교정수술의 경우 좁은 공간에서의 높은 정확성을 요구되므로 네비게이션 시스템의 여러 단계에서 발생할 수 있는 오차 가능성을 최소로 줄여야 될 뿐만 아니라,²⁵⁾ 시술 중 여러 수술 기구의 사용에 방해가 되지 않도록 네비게이션 장비를 위치시키고 그 크기 또한 최소로 하여야 할 것이다. 그러나 아직 악교정수술시 reference frame 장착이나 registration 방법 등에 대한 연구는 미비하다. 이러한 실정에서 본 연구는 추후 악교정수술에 적합한 네비게이션 시스템의 개발의 필요성을 인지하고, 현 상황에서의 여러 문제점의 인식 및 그 해결책을 모색하고자하는 의미에서 시행하였다.

악안면 부위 네비게이션 시스템 등록 방법에는 골 고정술 등 침습적 방법과 구강 스텐트 또는 skin surface scan 등을 이용하는 비침습적 방법 등이 있다.^{18,26)} 악교정수술시 환자의 상하악골을 포함한 두부는 시술 중 술자의 편의나 필요에 따라 계속 이동되나, 기준점은 골절단술 후에도 그 위치를 유지되어야 그 기준점의 상실을 방지할 수 있으므로 frameless fixator 네비게이션이 요구된다. 또한 위치된 reference frame이 수술 시야나 기구 조작 등을 방해하지 않으면서 네비게이션 시스템에 의해 실시간으로 계속 인식되어야 한다. 따라서 본 저자 등은 상악골에서는 zygomatic buttress 상방과 같이 Le Fort I 골절단술이 이루어지는 부위 상방, 하악골에서는 상행지 수술 시 원심측 골편에 위치하는 이부 부위에 reference frame을 위치시켰다. Reference frame의 견고한 고정과 회전 방지를 위해 두께 2.0 mm 이상의 K-wire를 두 개 식립하였으며, 카메라를 통해 화면 상에 인식되도록 각도 또한 알맞게 부여하였다. 그러나 시술 부위를 보기 위한 보조자의 머리 등이 RF 인식 경로를 가려 지속적인 실시간 모니터링이 어려운 경우가 있었으며 이에 대한 보완책이 필요하리라 사료된다. 첫 증례에서는 RF 고정 및 센서 감지 각도 설정에 익숙치 않아 약 30분 정도 소요하였으나 이후 점차 그 소요 시간이 감소하여, 첫 증례를 제외하면 평균 약 10분 정도 소요되었다. 네비게이션 시스템의 이용 또한 learning curve에 따라 처음에는 상당한 시간이 추가되지만 점차 감소될 수 있다.

기존의 네비게이션 시스템은 주로 신경외과적 사용에 알맞게 구비되어있어 각도가 부여된 oscillating saw와 같은 경우 기구 calibration 후 실제 화면 상에서는 직선으로 보이는 단점이 있다. 이에 따라 saw blade의 끝 부위의 위치는 인식할 수 있으나 삽입 각도와 깊이 등을 정확히 인가하지 못할 수 있다. 이와 같은 문제점은 추후 네비게이션 프로그램의 보완으로 해결될 수 있으리라 사료된다.

본 연구에서 제시한 네비게이션 방법이 추가적인 고가의 장비 사용을 사용하여 복잡한 시술을 하는 과잉 진료라고 생각할 수 있다. 그러나 실제 악교정수술시 경험이 부족한 시술자에서 또는 해부학적 변이를 가진 환자 등 여러 가지 이유로 적지 않은 수의 합병증이 일어나고 있으며 이중 과출혈이 상당한 비율을 차지하고 있다.^{27,28)} 이는 환자 자신뿐만 아니라 외과의에게도 마찬가지로 큰 재앙이 될 수 있으며, 이를 근본적으로 차단할 수만 있다면 보다 안전하게 악교정수술이 시행될 수 있으리라 사료된다.

정보기술의 눈부신 발전으로 의료 기술 또한 최근 비약적인 발전을 하고 있으며 이에 따라 보다 저렴하면서 작고, 간편하면서도 높은 정확성을 유지하는 카메라와 registration 방법을 가진 네비게이션 시스템이 계속 나오리라 사료된다. 이와 같은 발전으로 악교정수술에서 네비게이션 시스템을 보다 광범위하게 사용할 수 있게 될 것이다. 그러나 아직까지는 악안면외과 수술, 특히 악교정수술에 적절한 reference frame, registration 방법 및 수술 기구 등록화 등을 실현한 네비게이션 시스템에 대한 연구나 실제 악교정수술 시 어느 부위에 어떤 식으로 적용할 때 유용한가에 대한 방법론적 연구는 거의 없다. 따라서 앞으로 기술적인 면뿐만 아니라 술식 면에서도 보다 더 많은 발전이 요구되는 실정이다.

References

1. Ewers R, Schicho K, Undt G *et al* : Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology : a review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 34 : 1, 2005.
2. Enchev Y : Neuronavigation: geneology, reality, and prospects. *Neurosurg Focus* 27 : 11, 2009.
3. Willems PW, van der Sprenkel JW, Tulleken CA *et al* : Neuronavigation and surgery of intracerebral tumours. *J Neurol* 253 : 1123, 2006.
4. Spiegel EA, Wycis HT, Marks M *et al* : Stereotaxic Apparatus for Operations on the Human Brain. *Science* 106 : 349, 1947.
5. Watanabe E, Watanabe T, Manaka S *et al* : Three-dimensional digitizer (neuronavigator) : new equipment for computed tomography-guided stereotaxic surgery. *Surg Neurol* 27 : 543, 1987.
6. Gildenberg PL : History repeats itself. *Stereotact Funct Neurosurg* 80 : 61, 2003.
7. Hohlweg-Majert B, Schon R, Schmelzeisen R *et al* : Navigational maxillofacial surgery using virtual models. *World J Surg* 29 : 1530, 2005.
8. Feichtinger M, Schultes G, Karcher H : The use of a 3D navigation system in the treatment of mandibular angle fractures by minimally invasive insertion of Herbert screws for osteosynthesis. *Comput Aided Surg* 13 : 47, 2008.
9. Stone SS, Rutka JT : Utility of neuronavigation and neuromonitoring in epilepsy surgery. *Neurosurg Focus* 25 : 17, 2008.
10. Hassfeld S, Mühling J : Computer assisted oral and max-

- illofacial surgery - a review and an assessment of technology. *Int J Oral Maxillofac Surg* 30 : 2, 2001.
11. Casap N, Tarazi E, Wexler A *et al* : Intraoperative computerized navigation for flapless implant surgery and immediate loading in the edentulous mandible. *Int J Oral Maxillofac Implants* 20 : 92, 2005.
 12. Siessegger M, Schneider BT, Mischkowski RA *et al* : Use of an image-guided navigation system in dental implant surgery in anatomically complex operation sites. *J Craniomaxillofac Surg* 29 : 276, 2001.
 13. Hassfeld S, Mühling J : Navigation in Maxillofacial and Craniofacial Surgery. *Computer Aided Surg* 3 : 183, 1998.
 14. Lanigan DT, Hey JH, West RA : Major vascular complications of orthognathic surgery : homorrhage associated with Le Fort I osteotomies. *J Oral Maxillofac Surg* 48 : 561, 1990.
 15. Tsuji Y, Muto T, Kawakami J *et al* : Computed tomographic analysis of the position and course of the mandibular canal : relevance to the sagittal split ramus osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 34 : 243, 2005.
 16. Fujimura K, Segami N, Kobayashi S : Anatomical Study of the Complications of Intraoral-Vertico-Sagittal Ramus Osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 64 : 384, 2006.
 17. Nijmeh AD, Goodger NM, Hawkes D *et al* : Image-guided navigation in oral and maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 43 : 294, 2005.
 18. Shramm A, Gellrich NC, Schmelzeisen R : *Navigational Surgery of the Facial Skeleton*. Berlin, Springer-Verlag, 2007.
 19. Schramm A, Gellrich NC, Gutwald R *et al* : Indications for computer-assisted treatment of cranio-maxillofacial tumors. *Comput Aided Surg* 5 : 343, 2000.
 20. Pham AM, Rafii AA, Metzger MC *et al* : Computer modeling and intraoperative navigation in maxillofacial surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 137 : 624, 2007.
 21. Schmelzeisen R, Gellrich NC, Schoen R *et al* : Navigation-aided reconstruction of medial orbital wall and floor contour in cranio-maxillofacial reconstruction. *Injury* 35 : 955, 2004.
 22. Wittwer G, Adeyemo WL, Schicho K *et al* : Prospective randomized clinical comparison of 2 dental implant navigation systems. *Int J Oral Maxillofac Implants* 22 : 785, 2007.
 23. Casap N, Wexler A, Perky N *et al* : Navigation surgery for dental implants : assessment of accuracy of the image guided implantology system. *J Oral Maxillofac Surg* 62 Suppl 2 : 116, 2004.
 24. Casap N, Wexler A, Eliashar R : Computerized navigation for surgery of the lower jaw : comparison of 2 navigation system. *J Oral Maxillofac Surg* 66 : 1467, 2008.
 25. Widmann G, Stoffner R, Bale R : Errors and error management in image-guided craniomaxillofacial surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 107 : 701, 2009.
 26. Marmulla R, Mühling J, Lüth T *et al* : Advanced surface-recording techniques for computer-assisted oral and maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 42 : 511, 2004.
 27. Panula K, Finne K, Oikarinen K : Incidence of complications and problems related to orthognathic surgery : A review of 655 patients. *J Oral Maxillofac Surg* 59 : 1128, 2001.
 28. Kim SG, Park SS : Incidence of Complications and Problems Related to Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 65 : 2438, 2007.

저자 연락처

우편번호 410-719
경기도 고양시 일산동구 백석동 1232번지
국민건강보험공단 일산병원 치과 구강악안면외과
강상훈

원고 접수일 2010년 01월 18일
게재 확정일 2010년 03월 22일

Reprint Requests

Sang-Hoon Kang
Department of Dentistry Oral and Maxillofacial Surgery,
NHIC Ilsan Hospital
1232, Baeseokdong, Ilsandonggu, Goyang, Gyeonggi, 410-719,
Korea
Tel: +82-31-900-0620 Fax: +82-31-900-0343
E-mail: omfs1ksh@daum.net

Paper received 18 January 2010
Paper accepted 22 March 2010