투고일 : 2012. 10. 16 심사일 : 2012. 10. 18 게재확정일 : 2012. 10. 19

턱교정수술에서3D simulation과 CAD/CAM의 활용

[1]서울대학교 치의학대학원/치과병원 구강악안면외과, [2]서울대학교 의과대학 방사선응용생명과학전공,
[3]서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선과, [4]서울대학교 치학연구소

진 임 건[1], 양 훈 주[1, 4], 김 대 승[2, 4], 이 원 진[2, 3, 4], 황 순 정[1, 4]

ABSTRACT

3D simulation and CAD/CAM in orthognathic surgery

[1]Dept. of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentisty, Seoul National University, [2]Interdisciplinary Program in Radiation Applied Life Science major, College of Medicine,Seoul National University, [3]Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University, [4]Seoul National University Dental Research Institute
ImGeun Jin[1], HoonJoo Yang[1], DeaSeung Kim[2], Won Jin Yi[2, 3], Soon Jung Hwang[1]

We describes the process of 3D virtual treatment planning and of CAD/CAM for surgical splint in orthognathic surgery. The potential benefits and disadvantages of 3D virtual approach and the use of CAD/CAM system for the treatment of the patient with a maxillofacial deformity are discussed. For the more convenient applications,3D software should be improved.

Key words : 3D simulation, CAD/CAM, orthognathic surgery

최근 3차원 가상수술 기술이 발전하면서 턱교정 수술 환자의 진단 수술의 계획, 수술에 필요한 스플린트에 이를 적용하는 것이 차츰 실용화되고 있다. 또한 이를 뒷받침하는 의료 영상 시스템의 발전은 이전까지 불가능하다고 여겼던 가상 진단, 치료계획의 수립, 턱교정 수술 환자의 치료 결과 평가 등을 3차원으로 가능하게 해주었다. 안면골격 기형의 술전 계획시 보다 정확한 진단 및 수술 중 재현 가능성 있는 장치 제작을 위해서는 적절한 자료의 수집 및 분석이 필요하다. 전통적으로 술전 자료와 장치물로 임상검사, 측면 정면 두부계측방사선사진, 진단모형, 안궁(face bow), 교합기, 임상사진 등이 사용된다. 이러한 자료를 이용하여 계획을 세운 후 반조절성 교합기에 마운팅된 석고모델을 대상으로 모델수술을 진행한다. 그 결과를 수술에 반영하기 위해 반조절성 교합기의 상하악의 위치관계를 아크릴 수지로 인기한 교합 스플린트를 제작하고 이를 수술 중에 사용하는데, 이러한 방법은 턱교정 수술이 개발된 후에 많은 수정과 연구 및 평가를 통해 정립된 것으로 현재 임상에 널리 사용되고 있으나, 단계별 각각 오차나 부정확의 가능성을 가지고 있다[1~5].

근래에 들어 컴퓨터 영상 단층촬영 혹은 cone beam CT(CBCT)에서의 측정자료,즉 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 이미지를 이용한 컴퓨터 도움을 받는 턱

교정수술용 프로그램(computer assisted orthognathic surgery planning software)의 개발로 턱교정수술 환자의 진단, 수술계획의 수립, 술후 결과의 예측과 수술 전후 결과분석에 유용하게 사용할 수 있게 되었다. Multislice CT나 CBCT는 환자 안면의 해부학적 구조의 입체적인 영상을 제공한다. 이들 데이터는 일련의 컴퓨터를 이용한 수학적 알고리즘을 사용하여 환자의 두개안면골격과 이를 덮고 있는 연조직의 3차원적 영상으로 변환된다[2~8]. 최근 이러한 CT 데이터를 3차원적 영상화하고 이를 활용하는 소프트웨어가 많이 등장하였다. 이러한 소프트웨어를 이용하면 계획된 수술을 시뮬레이션해 보는 것이 가능하며 술 후 연조직과 경조직에서의 변화를 예측해 볼 수 있다. 또한 3차원 영상 기술의 발달로 술 전 계획 뿐만 아니라 수술용 스플린트의 제작을 위한 새로운 기법(소프트웨어)도 가능해졌다[2~4, 8, 9]. 2차원적 영상에서 3차원적 영상으로의 전환은 측면 두부계측방사선사진에서 얻을 수 없는 보다 많은 정보를 의료진과 환자에게 제공한다. 또한 이런 프로그램을 사용하여 컴퓨터 파일로 저장된 정보 및 3차원 영상과 의료진의 상호작용이 가능해진다. 나아가 모든 술전 정보는 인터넷을 통해 빠르고 쉽게 세계의 다른 의료진과도 공유가 가능하게 한다. 수술 계획은 몇몇 프로그램을 이용하여 진행되는데 외과 시뮬레이션 프로그램은 치열의 3차원적 움직임을 반영하고 절단된 골편의 결과적 움직임을 반영하여 수술결과에 영향을 줄 수 있다(그림 1)[1~8].

그러나 환자의 natural head position를 CT 영상에서 정확하게 재현을 하지 못하기 때문에, 이러한 소프트웨어에 의존해서 환자의 안면비대칭에 대한 평가를 하고 이에 따른 수술계획을 세운 후, 이를 실제 수술환경에 적용하기에는 제한이 있다[2]. 그러므로, 악교정 수술의 계획을 세우는 데에 실제 사용 가능하게 하기 위해서는 영상 촬영 시스템과 3차원 가상 계획 소프트웨어가 사용하기 편하며 정확성이 개선되고 쉽게 접근 가능하도록 많은 변화가 필요하다[2~7]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 구강내외의 기준점(landmarks)과 face-bow 등 기계적 장치를 이용하는 등 수많은 시도가 이루어지고 있다. Chapuis 등은 광학 장치(optical tracking device)를 이용하여 마운팅된 모델의 교합기 상에서 디지털화하고 네비게이션 기술을 사용하여 수술장에서 3차원적 위치관계를 구현하였다[11]. 이런 기술은 잠재적인 이점이 있으나 아직 보편화되지는 못하고 있다. 그럼에도 불

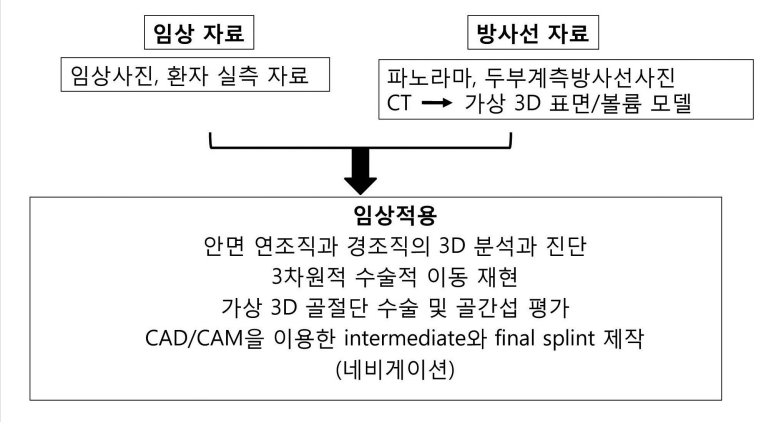

그림 1. 컴퓨터 지원 턱교정수술을 위한 자료와 임상적용

구하고 많은 문제 중 일부는 해결되어 3차원 턱교정 수술이 가능하게 되었다. 특히, CBCT의 등장으로 낮은 방사선 조사량만으로도 연조직과 경조직 치아에 대한 영상을 채득할 수 있고, 통상의 multislice CT에서는 환자가 누워서 영상을 채득하여 문제가 되는 natural head position(NHP)의 문제도 앉아서 3차원 영상을 채득하여 보다 실제적인 환자의 머리위치를 재현되는 장점을 갖추게 되었다. 하지만 CBCT는 뒤에서도 언급하겠으나, 앉아서 영상을 찍는 과정이 비교적 길어서 환자가 머리를 움직이는 문제와 NHP의 머리 위치를 완전하게 재현하지 못하는 문제점, 그리고 장비의 기술적인 제한으로, 두개골 전체를 모두 촬영할 수 없고 두개골의 수직적인 측면에서 대부분 전두골의 일부부터 하악골까지만 촬영할 수 있는 문제점이 있다[2].

실제 턱교정수술에서 3차원 계획수립과 활용은 다음의 과정으로 이루어진다. 1) "3차원 영상 자료 형성과정"으로, 3차원 가상 악교정 수술을 위한 영상촬영과 실제 해부학적 구조물을 3차원 가상 현실로 변환하기 위해 촬영된 영상의 변환이 포함되고, 2) "치료자에 의한 3차원 진단과 치료계획 과정"으로, 3차원 영상에서의 환자의 진단과 턱교정 수술과정을 시뮬레이션하여 3차원적인 치료 계획을 세우며, 3) "수술에 필요한 스플린트 제작과정"으로 세워진 3차원 가상 치료 계획을 CAD/CAM 장비가 있는 장소로 보내서 3차원 스플린트를 제작하게 되며, 4) 세워진 3차원 가상 수술결과를 수술 중에 활용하거나 수술 후 3차원 수술 결과와 비교 평가하는 과정이다(그림 2).

Ⅰ. 3차원 영상자료 형성

1. 영상촬영

턱교정 수술 계획을 올바르게 세우기 위해서 환자로 하여금 얼굴 표정근육의 긴장을 완화하고 자연두부위치(NHP)에서 촬영을 하도록 한다. 방사선 조사량이 적으며 서서 찍을 수 있을 뿐만 아니라 안면 대부분을 촬영할 수 있는 CBCT의 등장은 미래에 어떻게 턱교정 수술이 계획되는지에 대한 혁명을 가

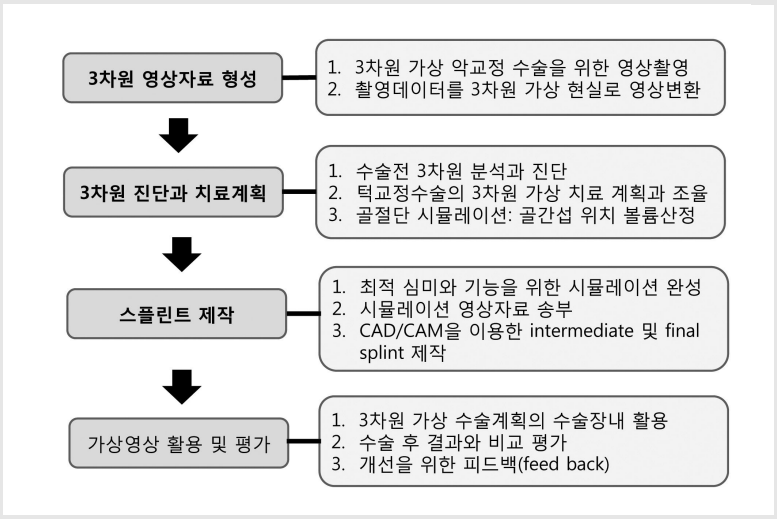

그림 2. 턱교정수술에서 3차원 치료계획수립과 활용의 과정

져왔다. CBCT는 종래의 multislice CT에 비해 비용이 저렴하고 진료실에서 바로 촬영이 가능하여 높은 접근성을 제공하는 3차원 영상장치이다[2~4]. 그러나 3차원 가상 턱교정 수술 계획을 위한 이상적인 CBCT는 아직 개발되지 않았다. 실제 일상정인 진료환경에서 몇몇 문제들이 부각되고 있다[2]. 첫째, CBCT로 촬영한 영상은 현재 턱얼굴 변형의 형태 전체를 보여주기에는 크기가 작다. CBCT 제품에 따라 영상 범위가 길이 측면에서 제한되고 갑상선 상연에서 상안와 2cm 부위 이상은 촬영이 불가능하다. 회사 제품에 따라 CBCT 제품은 촬영 깊이가 부족하여 양측 porion과 비첨부를 충분한 여유를 두고 촬영하기 힘들다. CBCT의 영상의 범위는 X선의 형태와 평평한 형태의 패널에 영향을 받는데 현 CBCT 제품의 패널의 크기가 상대적으로 작아 촬영 영상의 범위에 제한이 있다. 다만 이러한 패널 기술의 급속한 진보가 이루어지는 만큼 가까운 미래에는 이러한 제한이 사라질 것으로 예상된다. 둘째, 촬영된 영상의 범위에 한계가 있어 환자의 NHP의 정확한 위치를 재현하거나 구현하기가 불가능 하다. 촬영시간이 길어서 혹은 2회에 나누어 찍는 것 때문에 촬영동안 환자의 자세가 변할 수 있고 이는 결과물에 영향을 미치게 된다. 향후 CBCT 장치와 소프트웨어의 발달로 인하여 더 큰 범위에 대한 촬영이 가능하고 촬영시간이 줄어든다면 이 문제를 해결할 수 있을 것이다. 셋째, multislice CT대비 높은 노이즈, 낮은 대조도, 높은 해상도, 그리고 CBCT의 영상물의 질의 한계가 고려되어야 한다. 넷째, multislice CT에 비해 교합면에서 artifact가 적은 편이지만 환자에 대한 영상의 촬영으로 정확한 교합면과 교합관계에 대한 자료를 보여주지는 못한다. 마지막으로, CBCT 영상의 인식 프로그램의 빠른 발전으로 CBCT는 구입한 제품의 업데이트가 지속적으로 필요하다. 따라서 임상가들은 자주 소프트웨어의 업데이트를 통해 영상물 질의 개선을 추구해야 한다.

2. 3차원 가상 현실로 변환하기 위해 촬영된 영상의 변환

턱교정수술을 위한 3차원 가상영상의 목표는 안면연조직, 내재한 골구조, 치아 등 환자의 실제 해부학적 구조물을 재현하는 것이다. CT 영상단면의 두개골 영상의 재조합은 'Marching cubes' 방법을 사용하여 얻어지며, 다각형의 그물망 형태의 사용을 사용하여 골조직의 영상에 대한 조절을 가능하게 한다[2, 5]. 3차원 영상을 만들기에 앞서 metallic artifact를 제거하기 위한 과정을 거치게 된다. 턱교정 수술을 위한 3차원 가상수술 계획을 세우기 위해서는 촬영된 CT의 영상을 반자동 역치조절을 통해 처리해야 한다. 이 과정에서 가장 중요한 장애물은 교합관계의 부정확성이다[1~4, 8, 9]. Gateno1 등은 임상적인 턱교정수술에 있어 정확한 치아정보를 환자 두개골에 적용한 첫 시도를 하였으며 Swennen[2] 등은 진단모델의 사용이나 안면 연조직의 변형없이 턱교정수술 치료 계획을 위한 혁신적인 시도를 하였다. 그 방법은 세 번의 CBCT 촬영을 통해 화소(pixel) 수를 기준으로 하여 세 번의 영상을 이용하는 것이다. 먼저, NHP에서 CO로 교합을 유도한 다음 CBCT 촬영을 한다. 그 후,상하악에 인상체를 입에 문 채로 낮은 해상도와 낮은 조사량의 CBCT 촬영을 시행한다. 마지막으로 높은 해상도의 CBCT로 인상체만을 촬영하고, 세 번의 CT 촬영 후, 이들 영상을 융합하여 정확한 교합을 재현한 3차원 가상 모델이 만들어진다.

Ⅱ. 3차원 진단과 치료계획

1. 수술전 3차원 진단

우선, 2차원 두개방사선분석의 3차원적 재현을 통해 3차원적인 안면골 분석을 하게 되고(그림 3), 상하악 진단 모델의 3차원적 스캔 데이터를 3차원 CT 가상영상과 통합하고, 스캔된 진단 모델의 3차원 측정은 접촉형태의 3차원 digitizer를 이용하여

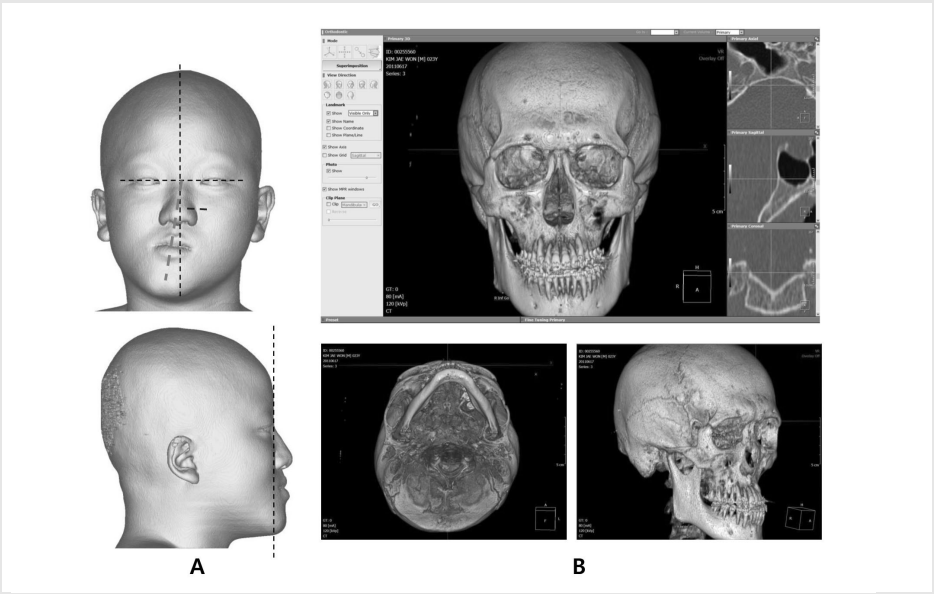

그림 3. 수술 전 안면골의 3차원 분석. A: 연조직의 분석, B: 안면골의 분석

수작업으로 이루어진다. 측정되는 진단모델의 기준점은 임상가에 따라 차이가 있으며 상악 중절치의 치관첨단, 좌우측 제2대구치의 교두첨단, 하악 중절치의 치관첨단, 좌우측하악 제2대구치의 교두첨단을 이용한다[5]. 술전과 예측된 술후 교합의 관계는 수술모형을 통해 계산된다. 이후 3차원영상은 회전이동이나 위치이동을 통해 원하는 길이와 각도에 대한 3차원적 평가를 하게 되며, 수직과 수평의 기준 평면은 제품이나 의도에 따라 다양하게 설정이 가능한데, 양쪽 Porion의 높이 차이가 많은 점으로 porion을 기준점으로 사용하는 것보다 비교적 양쪽 오차가 적은 Orbitale를 이용하여 양쪽 Orbitale와, 뇌기저부의 Basion을 포함한 평면을 수평면으로 하고 N을 포함하며 수평면에 직각인 평면을 안면중심 평면으로 하여 많이 사용하게 된다. 임상 검사와 환자 가상모델의 3차원 자료의 조합을 통해 턱교정 수술을 위한 환자의 진단을 위한 잠재력이 증대되었다. "부피 렌더링(volume ren dering)"과 "표면 렌더링(surface rende ring)"은 3차원 가상 화면에서 환자의 이미지에 3차원 가상 현실을 구현한다. 두가지 기법은 원래의 CT 영상에 사용되어 2차원적 환자의 영상을 3차원 평면으로 재구성한다[2]. 현 3차원 가상 현실의 접근법은 단점은 단편적인 얼굴의 구현에 머문다는 점이다. 웃는 얼굴 등 가상의 동적인 진단은 가까운 미래에 가능해질 것으로 생각된다.

2. 턱교정수술의 3차원 가상 치료 계획과 조율

전통적인 치료계획에 비해 3차원 가상 계획의 중요한 장점은 계획을 수립할 때 환자의 해부학적 구조에 대해서 더 많은 정보를 참고하는 것이 가능하다는 점이다. 게다가 3차원 가상 치료 계획은 2차원적인 안모형태(facial profile)보다 3차원적인 얼굴의 조화에 더 집중할 수 있다. 턱교정 수술의 3차원적 가상 계획의 표준적인 접근은 환자의 안면 연조직과 경조직의 3차원적인 분석 자료를 근거로 하여, 3차원 가상 골절

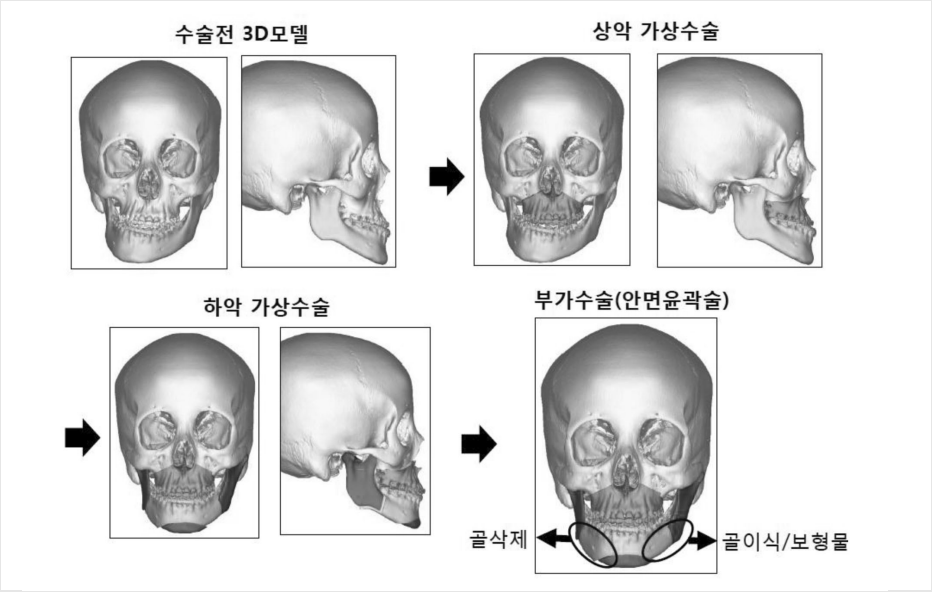

그림 4. 턱교정수술의 3차원 가상수술과 치료계획 수립

단 수술을 하여 골간섭의 위치와 정도를 수술 전에 재현하고, 이상적인 안면 연조직 형성을 위한 절단된 악골의 3차원적 가상 이동을 하게 되는 과정으로 구성된다(그림 4)[2, 5, 10].

전통적인 악교정 수술 계획의 가장 큰 단점은 임상진단, 임상적 실측을 측면 혹은 정면 두부계측방사선사진, 임상사진, 안모 예측 tracing, 진단 모델, 교합기 상에서의 모델수술 등을 이용하여 치료 계획을 환자와 상호소통하기 힘들다는 것이다. 3차원 가상 턱교정 수술 계획은 골조직과 연조직, 치아까지 하나의 가상 해부학적 모델을 사용하여 환자의 수술 계획을 시각화하는 것이 가능하기 때문에 환자와 소통하는 강력한 수단을 제공하고,환자의 필요에 따라 다양한 시각화가 가능하다. 뿐만 아니라, 3차원 가상 수술계획은 읽기 전용 포멧으로 저장되어 턱교정수술을 의뢰한 교정치과의사에게 보내져서 환자의 수술 계획의 수립과 관련한 소통이 가능하다. 또한 턱교정수술의 최신 치료기법을 전공의를 대상으로 교육하는데 훌륭한 수단이 될 수 있다.

3. 골절단 시뮬레이션

턱교정 수술은 보통 구강내에서 진행되므로 골편 사이에서 발생하는 골간섭의 위치와 그 정도에 대한 파악은 수술 중에 하기 어렵다. 특히 하악골의 턱교정 수술에 있어서 원심골편과 근심골편간의 간섭은 턱관절의 뒤틀림 현상과 수술 후 턱관절 장애를 발생시킬 수 있고, 수술 후 악골의 변위를 가져 올 수 있다는 면에서 매우 중요함에도 불구하고 골간섭이 발생하는 곳이 매우 후방부위에서 발생하므로, 간섭의 정도나 위치는 수술 중 쉽게 파악하기 힘들고, 2차원적인 방사선 자료에 의존해서는 근심 원심 골편의 입체적인 이동과 3차원적인 구조물의 이해에는 근본적인 한계가 있다[5]. 최근 컴퓨터 이용한 외과적 시뮬레이션 기술의 진보는 상호작용의 시각화, 시뮬레이션, 외과적 결과에 대한 예측을 가능하게 하였다. 술후 골격 형태와 치열의 3차원적 예측을 위해

서 우리는 3D CT와 진단모델, 두부계측 방사선 사진의 정보를 종합해야 한다. 이전의 3D CT를 이용한 외과적 시뮬레이션은 턱교정 수술에서 술후 안면 예측에 있어서 실제 수술에서와 같은 치열 및 분절된 골편의 이동을 반영하지 않았고, 3D CT 영상에서 금속 수복물에 의한 영상의 blurring(흐림 현상) 문제점으로 외과적 시뮬레이션의 한계가 있었서 실제 수술의 예측기준으로 사용되지는 못했다. Fuhrmann[11] 등은 3차원적 두개골 모델과 상하악 진단모델을 결합하여 비대칭 안면 골격에서 골편간 갑섭과 틈을 예측하기 위한 첫 시도를 하였으나 높은 비용과 시간 문제, 그리고 무엇보다도 3D CT 모델의 정확도가 떨어져 부정확한 예측성의 문제가 있었다. 최근 CBCT 및 multislice CT 장비의 기술적 발달로 3차원 가상모델의 실제 해부학적인 재현도와 정확도가 높아지고 3차원적인 골절단 시뮬레이션을 위한 프로그램의 개발과 업그레이드가 많이 이루어져 보다 한 개 평면을 통한 직선적인 골절단이 아닌, 복수의 평면으로 된 골절단이 가능해져서, 실제와 유사한 골절단 시뮬레이션을 할 수 있게 되었다. 향후 보다 빠르고 간단하며 곡선으로 골절단이 가능한 프로그램이 개발되면 보다 세련되고 실제적인 시뮬레이션이 기대된다.

가. 상악골 절단 시뮬레이션

상악골 절단에 사용되는 Le Fort 씨 I형 골절단은 통상적으로 직선으로 시행되므로 비교적 골절단의 시뮬레이션은 용이하다. 하지만 상악결절과 익돌판(pterygoid plate)의 경계는 곡선으로 되어 있어서 다수의 평면으로 구성된 골절단을 시행하여 분리를 하여야 한다. 이후 임상적 평가 및 사진, 그리고 방사선 계측을 통해 결정된 상악골의 이동방향과 이동량을 3차원 가상화면에서 시행하고, 이때 발생하는 골간섭의 위치와 양을 계산하여 수술적 정보로 이용하게 된다(그림 5A).

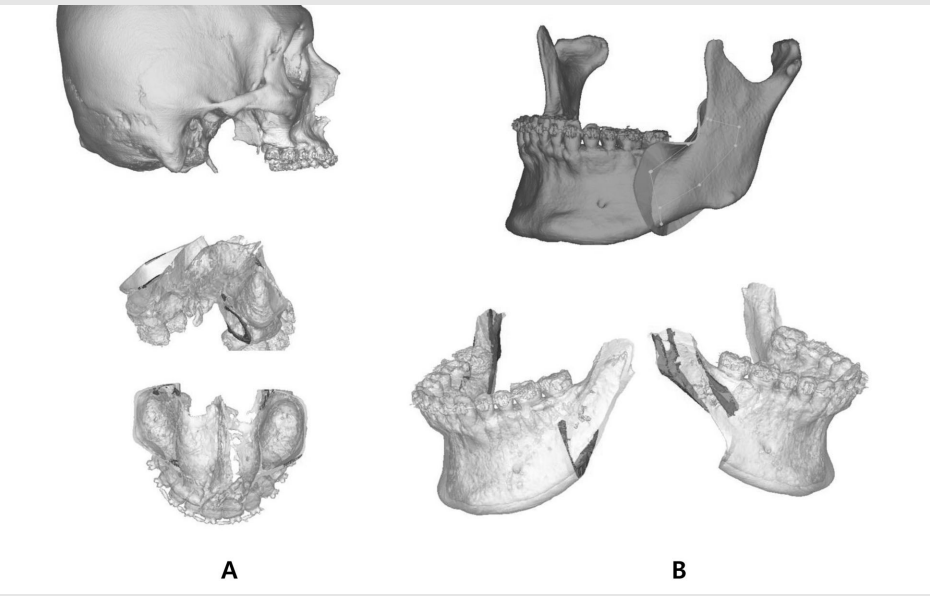

그림 5. 상악골(A)과 하악골(B)의 골절단 시뮬레이션 및 골간섭 평가

나. 하악골절단 시뮬레이션

턱교정수술에 사용하는 하악골의 절단은 하악상행지시상골분할술과 하악지수직골절단술이 있는데, 본 논문에서는 많이 사용하는 전자의 골절단에 대해서 설명하기로 한다. 하악상행지의 골절단선은 한 개의 평면에서 이루어지지 않고 곡선과 직선 그리고 하악 상연과 하연에서의 골절단 선이 서로 다른 평면에 존재하므로 실제적인 골절단선과 유사하게 시뮬레이션을 하려면, 매우 복잡하고 다수의 평면으로 구성된 골절단선을 형성하여 완성하게 되므로, 매우 힘들고 시간이 많이 소요되는 과정이다. 골절단을 통해 하악골을 근심골편과 원심골편을 분리하고, 원심골편을 상악의 치아와 최적의 교합을 이루는 위치로 이동하여 주고, 근심골편의 비대칭 위치를 턱관절을 중심으로 한 내외측 스윙운동을 통해 재위치시키면 근심골편과 원심골편의 골간섭 위치와 간섭량을 계산하여 수술적 정보로 활용하게 된다. 골간섭의 정보는 특히 안면비대칭의 경우 매우 중요한데, 골간섭이 매우 심해서 하악과두의 뒤틀림이나 변위를 피할 수 없는 경우에는 추가적인 골절단을 고려하거나 수술계획 자체를 변경하는 것을 고려하여야 한다(그림 5B).

다. 이부성형술의 시뮬레이션

이부의 비대칭 또는 전후방 위치 개선을 위해 일직선으로 된 골절단을 하여 턱교정 수술의 전반적인 시뮬레이션을 마치게 된다(그림 4). 잔존하는 비대칭에 대해 평가를 하고 심미적 개선을 위한 추가적인 골절단 또는 골삭제, 그리고 결손부위의 보충(골이식 또는 인공보형물 이용)을 고려한다(그림 4).

Ⅲ. 수술에 필요한 스플린트 제작

시뮬레이션을 통해 상악골의 이동이 이루어지면 상악골 수술에 필요한 중간 스플린트의 제작을 할 수 있고, 그 이후 하악골의 원심골편을 상악골과 가장 적합

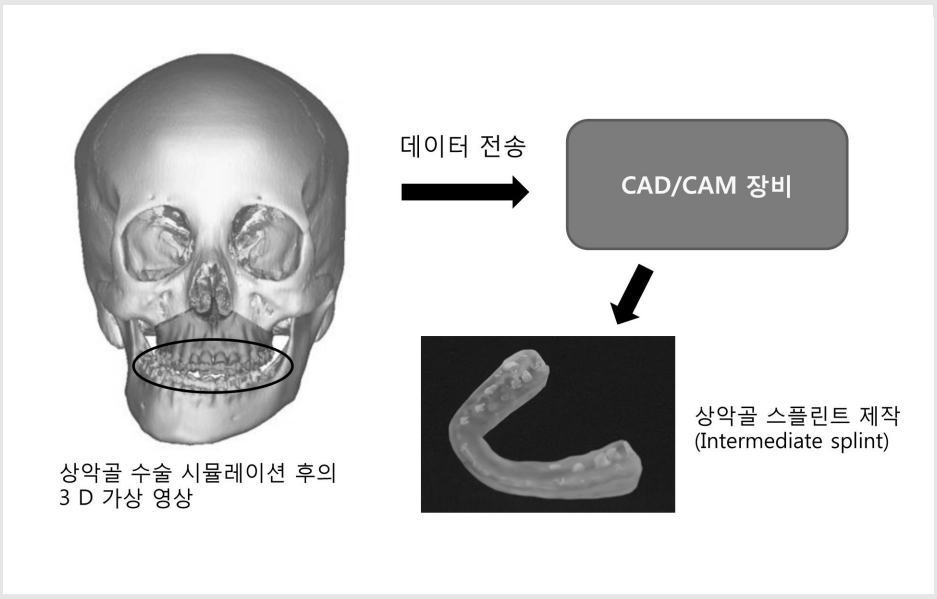

그림 6. 수술에 필요한 상악골 스플린트 제작

한 교합의 위치에 이동한 후에는 최종 스플린트 제작을 할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 이동된 상악골과 하악골의 3차원 가상 치료 계획을 CAD/CAM 장비가 있는 장소로 보내서 3차원 스플린트를 제작하게 되고 이를 수술중에 사용하게 된다(그림 6). Gateno[1] 등은 CAD/CAM 입체 석판술(stereolithography) 스플린트가 종래의 스플린트와 차이가 없음을 보고한 바 있다. 또한 Swennen[2] 등은 밀링방법을 이용한 스플린트의 제작법도 수술적 정확도에서 우수한 결과를 보이고, 복잡한 수술 계획 또한 가상의 수술을 정확하게 할 수 있다는 장점이 있음을 보고하였다.

Ⅳ. 3차원 가상 수술계획의 수술장내 활용과 수술 후 평가

3차원 가상 수술계획은 뷰어 형태로 수술장으로 쉽게 보낼 수 있다. 수술 중 언제든지 외과의사, 마취과의사, 간호사들은 수술 계획을 열람할 수 있다. 계획을 환자에서 구현하기 위하여 3차원 수술용 스플린트와 캘리퍼(caliper)를 이용하여 상악골의 위치를 보정할 수 있다. 3차원 수술계획의 환자에 적용하는 방법의 정확성에 대해 후향적인 연구가 이루어지고 있으며 임상적으로 충분히 정확하다는 결론을 얻지 못할 경우, 수술중의 C-arm CBCT의 사용이나 수술계획을 반영한 고정용 금속판의 이용 등의 방법도 고려할 수 있다. 고가의 장비이기는 하지만, 네비게이션 장비를 구축하면 3차원 시뮬레이션의 결과를 수술 직후 곧바로 비교, 평가하는데 활용할 수도 있다[10]. 턱교정 수술의 3차원 수술계획의 가장 강력한 측면은 아마도 치료결과의 평가 부분일 것이다. 술전 상태의 3차원적인 세심한 평가, 3차원 가상 치료목표, 실제 치료 결과는 새로운 시각과 다양한 정보를 제공하며 턱교정 수술이 필요한 환자를 더욱 만족스럽게 치료할 수 있게 해준다.

3차원적 영상을 이용한 수술적 시뮬레이션과 CAD/CAM 시스템에 대한 많은 기초 연구와 임상적 실험이 여러 연구실과 병원에서 이루어지고 있다. 이들 연구결과를 실제 임상에서 적용하는 것은 턱교정 수술환자의 진단과 치료 계획, 치료 결과의 평가에 있어 새로운 가능성을 보여준다. 그러나 전통적인 수술계획법을 3차원 가상 계획으로 대체하기 위해서는 진료의 질이 높아져야 하고, 일련의 작업과정이 더욱 효율적으로 진행되어야 하며 비용이 더욱 저렴해질 필요가 있다. 턱교정 수술이 필요한 환자의 치료법 개선에 3차원 가상 계획이 도움을 주는 것은 의심할 여지가 없다. 그러나 일상의 임상에서 개개의 환자에게 모두 적용하기에는 효율성 문제가 여전히 존재한다. 게다가 CBCT 장비와 가상의 3차원 프로그램은 여전히 비싼데, 그럼에도 불구하고 턱교정 수술이 필요한 환자의 치료를 개선하기 위한 효율적이고 비용대비 효과적인 임상적 방법으로서 3차원 가상 치료 계획법의 개선이 기대되고 있다.

참 고 문 헌

1. Gateno, J., et al. (2003). The precision of computer-generated surgical splints. J Oral Maxillofac Surg 61(7): 814-817.
2. Swennen GRJ, Mollemans W, Schutyser F. (2009). Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. J Oral Maxillofac Surg 67(10): 2080-2092.
3. Swennen GRJ, Mollemans W, Schutyser F. (2007). The use of a new 3D splint and double CT scan procedure to obtain an accurate anatomic virtual augmented model of the skull. Int J Oral Maxillofac Surg 36: 146-152
4. Swennen GR, Mommaerts MY, Abeloos J, De Clercq C, Lamoral P, Neyt N, Casselman J, Schutyser F (2008).A cone-beam CT based technique to augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface.Int J Oral Maxillofac Surg. 2009 Jan;38(1):48-57. Epub 2008 Dec 31.
5. Mori Y, Shimizu H, Minami K, Kwon TG, Mano T. (2011). Development of a simulation system in mandibular orthognathic surgery based on integrated three-dimensional data. Oral Maxillofac Surg 15(3): 131-138.
6. Caloss R, Atkins K, Stella JP (2007). Three-Dimensional Imaging for Virtual Assessment and Treatment Simulation in Orthognathic Surgery. Oral Maxillofacial Surg Clin N Am 19; 287-309
7. Cevidanes LHC, Tucker S, Styner M,et al.(2010) Three-dimensional surgical simulation. Am J Orthod Dentofacial Orthop 138:361-71
8. Aboul-Hosn Centenero S, Hern?ndez-Alfaro F (2011). 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results - our experience in 16 cases. J Craniomaxillofac Surg. 2012 Feb;40(2):162-8. Epub 2011 Mar 31.
9. Uechi J, Okayama M, Shibata T, Muguruma T, Hayashi K, Endo K, Mizoguchi I (2006). A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image-fusion technique. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 130(6):786-98.
10. Chapuis J, Schramm A, Pappas I, Hallermann W, Schwenzer-Zimmerer K, Langlotz F, Caversaccio M (2007). A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw surgery. IEEE Trans Inf Technol Biomed. 11(3):274-87.
11. Fuhrmann RA, Frohber U, Diedrich PR. (1994). Treatment prediction with three-dimensional computer tomographic skull models. Am J Orthod Dentofacial Orthop 106(2): 156-160.