

삼차원 영상을 이용한 영상유도 임플란트 수술

서울대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실

조교수 이 원 진

1. 서 론

국내에서 임플란트는 매년 수만 개 이상 시술되고 있으며, 앞으로 경제수준의 향상 및 노인층의 증가로 인해 임플란트 시술의 수요는 지속적으로 높아질 것으로 예상된다. 치과 임플란트 시술의 중요한 요소는 치조골에 삽입되는 임플란트의 3차원적 위치, 각도 및 깊이로서 치과 보철물의 장기적 예후를 결정하며 환자의 심미적, 음성학적 및 저작 기능적 측면에 영향을 끼친다.

임플란트를 성공적으로 시술하기 위해서는 악골 주위의 중요한 해부학적 구조물을 정확히 인지하면서, 술전에 미리 계획된 식립 위치, 각도 및 깊이를 수술 시 정확히 재현하여 악골 내에 식립해야 한다. 인지해야 할 중요한 해부학적 구조물은 하악관(mandibular canal), 이공(mental foramen), 절치공(incisive foramen), 상악동(maxillary sinus), 악하선와(submandibular fossa) 등이 있으며, 치아 결손부 주위의 치아와 잔존골의 두께와 형태에 대

해서도 유념하여 시술해야 한다¹⁾. 치과 임플란트 식립 시술 시, 이러한 악골 내 및 주위의 삼차원적인 구조물에 대한 실시간적인 모니터링을 할 수 없기 때문에, 고난이도의 식립술 시 시술의 성공도는 대부분 의사의 수기 능력에 따라 좌우되고 있는 실정이다. 따라서 시술의 성공률을 높이고 임상에서 쉽게 활용될 수 있는 3차원 영상을 이용한 여러 가지 시술 보조방법이 개발되고 있다.

2. 영상가이드 임플란트 시술법 (Image Guided Implant Surgery)

삼차원 영상가이드(three-dimensional image guide)를 이용한 임플란트 시술법은 기본적으로 판막 수술이 없는(flapless) 치료법이다. 이는 임플란트 시술 후 치은 형태의 변형을 피할 수 있으며, 혈류 공급을 유지함으로써 즉시 부하 임플란트(immediately loaded implant)의 경우에 성공률을

임상가를 위한 특집 3

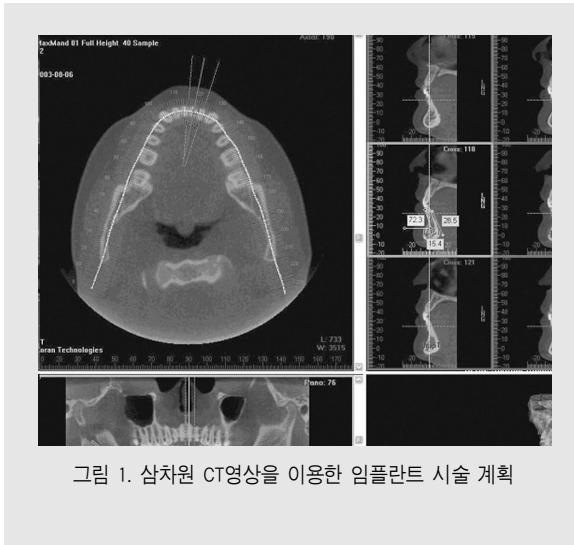


그림 1. 삼차원 CT영상을 이용한 임플란트 시술 계획

높일 수 있고, 골제거 부위에 골절단기(osteotome)를 사용하여 넓힐 경우, 골막(periosteum)은 순측 골판(labial plate)을 지지하는 역할을 할 수 있다. 또한 시술 시간을 줄일 수 있으며 술 후 환자의 불편을 최소화 할 수 있다²⁾.

삼차원 영상을 이용한 영상가이드 임플란트 시술은 크게 영상을 이용한 계획단계와 계획된 정보를 환자에게 전달하는 가이드 단계로 이루어진다. 계획단계에서는 임플란트 모델을 환자의 영상에 가상으로 식립해 보는 단계이다(그림1). 환자에게 계획된 정보를 전달하는 방법은 드릴 가이드 스텐트

(drill guide stent)를 시술 보조로 이용하는 방법, 영상항법 유도 시술법(image guided navigational surgery) 또는 로봇 시스템(robot system)을 이용하는 방법 등이 있다. 계획단계에서는 CT에서 3차원 스캔 영상을 얻은 후 우선적으로 반자동적 또는 자동적인 방법으로 악골을 영역분할(segmentation)한다. 이후에는 상악 또는 하악을 통과하는 곡선을 정의하고 이에 따른 파노라마 영상 및 이 평면에 수직인 수직 절단면들의 영상을 얻는다. 이 영상들의 평가를 통해 전체적 및 부분적 골질을 평가할 수 있다. 다음 과정은 하악관 모델링 및 임플란트 가상 식립과정이다. 하악관은 반자동적으로 추출될 수 있으며, 하악관 모델을 통과하는 경로는 활용되는 파노라마 영상 및 단면영상에서 가시화되어 가상 임플란트와의 거리를 안전하게 유지할 수 있도록 도와준다. 이를 통하여 가상 임플란트의 최적의 위치 및 각도를 상호작용적으로 설정할 수 있다. 가상 식립 후 임플란트는 단면 영상 및 악골의 3차원 렌더링 영상에서 가시화되어 식립 위치 및 각도를 확인할 수 있으며 최적의 위치 및 각도를 위하여 재조정 될 수 있다.

계획된 임플란트 정보를 환자에게 전달하기 위한 방법 중 하나인 드릴 가이드 스텐트(drill guide stent)를 이용한 방법은 Rapid prototyping(RP)



그림2. Rapid prototyping 시스템을 통해 제작된 스텐트를 이용한 임플란트 시술



그림 3. 드릴을 이용한 스텐트에 가이드 홀 제작

시스템(그림2)³⁾이나 드릴을 사용하여(그림3)⁴⁾ 스텐트(stent, template, sprint)에 계획된 위치, 각도에 따른 가이드 홀을 제작한 후 이를 시술 보조로 이용한다. 시술 시 스텐트를 환자에 구강 내에 장착하고 미리 뚫린 구멍이 유도하는 방향으로 임플란트 소켓을 시술하는 방법이다. 이는 핸드피스의 드릴 하부에 위치한 구조물에 대한 정보를 줄 수 없으며 시술 중에 위치 및 각도에 대한 실시간적이고 상호작용적인 제어가 불가능하다. 즉 시술 중에 조작이 불가능하여 계획된 방향을 확인하거나, 수정하는 것이 불가능하다. 따라서 수술 중 보완의 여지없이 미리 제작된 스텐트를 그대로 사용해야 한다. 또한 계획된 위치 정보를 스텐트에 이전하는 과정에서 재현성이 떨어질 수 있으며 이로 인해 전반적으로 정확도가 떨어질 수 있다. 스텐트는 육안으로 관찰되는 악골 표면의 구조를 바탕으로 제작되므로 실제 수술 시 부정확한 가이드가 되는 경우가 있고, 제작과정의 번거로움에 비해 임상에서의 활용도가 높지 않다.

3. 삼차원 영상유도 임플란트 수술법 (Image Guided Navigational Implant Surgery)

삼차원 영상유도 수술법 (image guided navigational surgery)이 1986년 Roberts 등에 의해 소개된 이후⁵⁾, 두경부 영역에서 이를 활용한 다양한 진보된 수술법들이 개발되었다. 신경외과적 수술에서는 프레임 없는 정위 수술(frameless stereotactic surgery)법으로 활용되고 있다. 이 수술법은 위성 위치확인 시스템(GPS, Global Positioning System)이 차량의 현재 위치를 전자 지도상에 표시해주는 것과 같은 원리이다. 수술 중 수술 도구의 위치를 컴퓨터 모니터 상에 환자의 3차원 해부학적 영상에 겹쳐서 표시해줌으로써, 의

사에게 해부학적 구조물에 대한 수술도구의 정확한 상대적인 위치정보를 제공한다(그림4)⁶⁾. 즉 의사의 수술도구가 환자의 3차원 해부학적 영상 지도 위에서 항해(navigation)를 가능하게 한다. 이는 수술 중 침습적 과정을 줄이고 병소의 국소 위치측정 및 적중 능력을 향상시킨다. 치과 임플란트 시술의 경우에는, 의사는 환자의 3차원적 해부학적 영상에 겹쳐서 나타난 핸드피스 드릴팁의 현재 위치, 각도 및 깊이를 실시간적으로 확인할 수 있다. 현재까지 개발된 위치추적 기술은 전자기기계적(electromechanical), 음파(sonic), 전자기파(electromagnetic) 및 광학적(optical) 수단을 이용한 방법 등이 있다. 그러나 광학적 방법을 제외한다면 다른 방법들은 정확도가 기구의 탄력성에 의해 영향을 받거나, 온도변화에 민감하거나 또는 강자성체 또는 전자기파에 영향을 받을 수 있기 때문에 잘 사용되지 않고 있다⁶⁾.

따라서 광학적 위치추적 방법이 가장 일반적으로 사용되고 있으며 이는 적외선 카메라가 적외선 방출 다이오드(infrared emitting diode) 세트나 적외선 형광 도료(fluorescent paint)가 칠해진 마커 프루브(probe)의 위치를 실시간으로 추적하여 환자와 수술도구의 위치관계를 재구성한다. 이러한 3차원 영상유도 임플란트 치료법은 다음과 같은 장점을

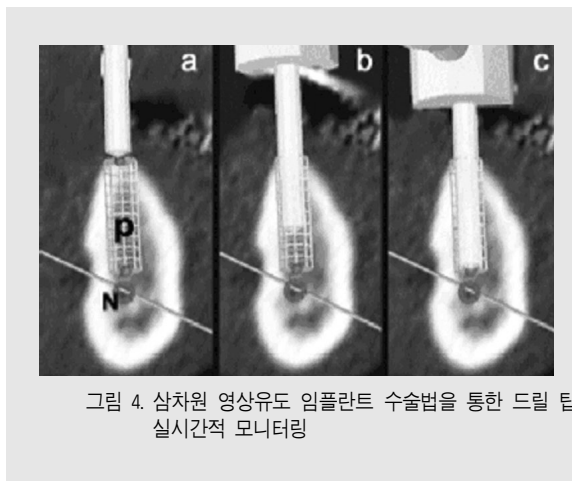


그림 4. 삼차원 영상유도 임플란트 수술법을 통한 드릴 팁의 실시간적 모니터링

임상가를 위한 특집 3

가진다. 우선적으로 최소 판막 또는 판막 수술 없는 치료법으로서, 치료 후 회복속도가 향상되고 환자의 불편을 최소화할 수 있다. 또한 수술 중 수술 경로의 실시간 제어가 가능하므로, 수술 중에 계획된 경로와 시술 경로 사이에 불일치 발생 시 또는 중요한 해부학적 구조물에 접근 시에는, 경고음을 통하여 술자의 주의를 환기시킴으로써 환자의 위험을 경감시킬 수 있어서 술식의 안정성을 확보할 수 있다.

4. 영상유도 임플란트 시술 시스템의 구성 및 정확도

광학적 위치추적(optical position tracking)을 이용한 영상유도(image guided navigation) 임플란트 시스템은 크게 적외선 위치추적 카메라, 핸드피스 위치를 추적하기 위한 마커 프루브, 환자위치를 등록하고 추적하기 위한 마커 프루브가 부착된 환자 스텐트, 그리고 시술계획 및 위치추적에 사용되는 모니터와 컴퓨터로 구성된다(그림5). 스텐트는 치과에서 일반적으로 사용하는 인상 획득 방법을 통하여 제작되거나 특수한 틀을 이용하여 제작된다. 이 스텐트는 환자에 장착되어 수술 전에 환자의 위치를 3차원 영상과의 등록(registration) 시 또는 수술 중에 환자의 위치변경을 추적하는 기준체(reference body)로 사용된다. 영상유도 임플란트 수술법은 우선적으로 환자와 3차원 영상과 연관시키기 위한 등록과정을 필요로 한다. 이는 환자 스텐트에 설치된 영상등록용 표지자(fiducial marker, 방사선불투과성 물질, 세라믹 또는 쇠구슬)의 위치와 3차원 CT 영상에 나타나는 표지자의 위치를 일대일로 대응시킴으로써, 환자의 초기위치를 등록하는 과정이다. 이 과정은 술자가 아닌 보조원에 의해 시술 전에 수행될 수 있다. 이때 스텐트에 부착되는 프루브를 기준체로 사용하기 때문에 환자의

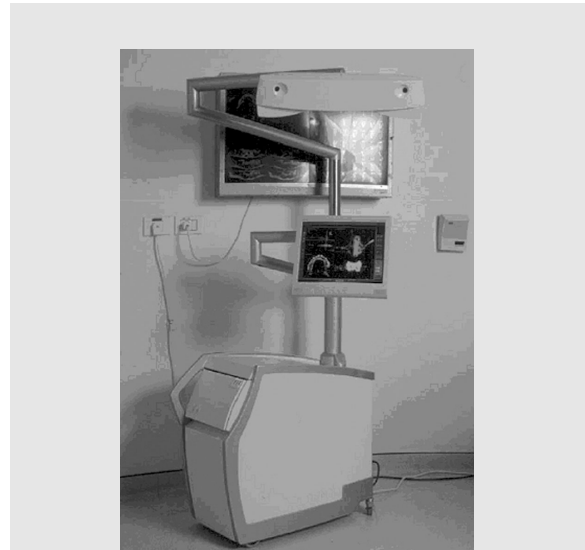


그림5. 광학적 위치추적을 이용한 영상유도 임플란트 시술 시스템의 한 예, DenX:Israel

움직임이 발생해도 이것에 의한 오차는 발생하지 않는다. 수술 중에는, 스텐트에 부착된 프루브를 통하여 환자 턱의 움직임과 핸드피스에 부착된 프루브를 통하여 드릴팁의 위치가 동시에 추적된다. 이를 통하여, 드릴팁의 위치는 환자 스텐트와의 상대적인 위치 좌표로서 자동적으로 계산된다. 따라서 환자의 움직임과 상관없이, 술자는 현재의 핸드피스 드릴의 3차원적 위치를 모니터 상에서 환자의 영상과 관계하여 확인할 수 있다. 즉 수술 중에도 환자의 움직임에 의한 위치 추적 오차는 발생하지 않는다.

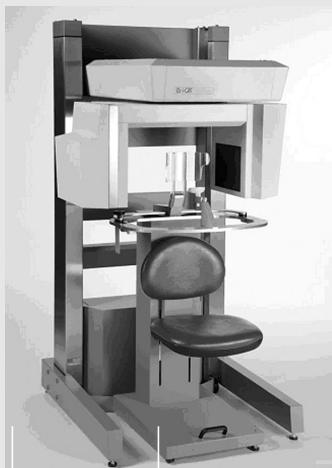
광학적 위치추적 방법을 이용한 임플란트 시술 시 정확도에 영향을 미치는 요소는 다음과 같은 것들이 있다. 임상적 정확도는 위치추적 하드웨어의 정확도, 영상등록과 관련된 알고리즘 및 표지자의 정확도 등에 영향을 받을 수 있다. 또한 술자의 수기능력 및 핸드피스 볼 베어링의 정밀도에도 영향을 받을 수 있다. Casap(2004) 등의 연구에 의하면, 세라믹 구가 삽입된 악골 모델을 CT로 촬영한 후 이 세라믹 구의 위치를 광학적 영상유도 방법으

로 측정하여 CT 영상에서 측정된 값과 비교하였을 때, 전체적으로 $0.35 \pm 0.14\text{mm}$ 의 오차를 나타냈다⁷⁾. Kramer(2004) 등에 의하면, 상악동 석고모델에 기존의 방법과 영상유도 방법을 이용하여 임플란트를 식립하고 위치, 각도 및 깊이에 대한 분산을 측정하였을 때, 광학적 위치 추적을 이용한 영상유도 식립방법이 위치, 각도 및 깊이에 있어서 통계적으로 유의하게 작은 분산을 보였다⁸⁾. 또한 식립된 임플란트들 사이의 위치, 각도 및 깊이의

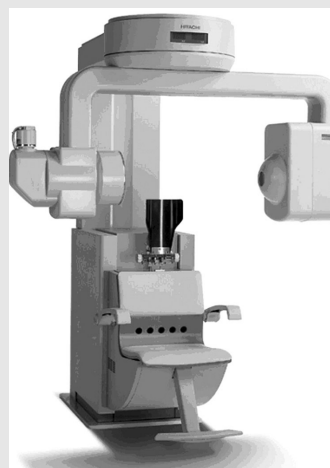
최대 차이도 역시 영상유도에 의한 방법이 더 작은 값을 나타냈다⁸⁾.

5. 영상유도 임플란트 시술법의 임상적용

최근의 발표를 보면, 실시간 영상유도 임플란트 식립법이 시술의 정확도와 정밀도를 높이고, 해부학적으로 접근이 어려운 부위에 즉 고난이도의 식



(a)



(b)



(c)

그림 6. 현재 임상에서 활용되고 있는 콘빔 CT의 예. (a) ISI:USA, (b) Hitachi:Japan, (c) Vatech:Korea.

립 시 복잡성을 최소화하고 시술의 성공률을 높인다고 보고되고 있다⁹⁾. 즉 심하게 흡수된 하악골에서 하치조 신경(inferior alveolar nerve)을 피하기 위한 의도적인 절충 술식, 좁은 상악 치아 사이 공간(narrow span)의 인접한 치근(adjacent roots)을 피하기 위한 술식, 한 곳으로 수렴하는 하악 치아의 치근(converging roots)을 피하기 위한 술식, 상악동 거상술(sinus lift) 동시 임플란트 식립술 및 상악동 천공(perforation)을 방지하기 위한 술식 등에서 육안으로 관찰되지 않는 중요한 해부학적 구조물에 대한 의원성 손상의 위험을 줄인다⁹⁾.

광학적 위치추적 방법도 몇 가지 단점을 안고 있다. 첫째는 핸드피스를 추적하는 적외선 카메라의 시야를 방해해서는 안 된다. 이는 술전에 술자와 환자의 위치관계를 잘 고려하여 카메라를 배치하거나 2개의 카메라 세트를 이용하는 방법 등을 통하여 극복 가능하다. 둘째는 3차원 CT 영상을 필요로 한다는 것이다. 이것은 환자에게 방사선 조사를 증가시킬 뿐만 아니라 비용과 시간 부담을 증가시킨다. 현재 드릴 가이드를 포함하는 영상 가이드를 이용한 임플란트 시술 방법이 임상에서 활용도가 낮은 이유 중 하나는 3차원 영상을 획득하는 것이 쉽지 않기 때문이다.

즉 3차원 영상을 얻기 위해서는 일반적으로 CT가 필요하나 이는 대부분 대형 병원에 주로 설치되어 있어서 일반 치과의원에서는 환자 의뢰를 통해 영상을 얻어야 하며 이로 인해 전체적인 치료과정 및 치료비용이 증가하게 된다. 그런데 최근에 일반적인 CT를 대체할 수 있는 콘빔(Cone beam) CT

가 개발되었으며 이는 기존의 CT에 비해 환자의 방사선 조사량 감소 및 설치공간과 비용의 효과적인 감소로 인해 일반 치과의원에도 활발히 보급되고 있는 추세이다(그림6). 기존의 CT는 영상 디텍터가 전체 볼륨에 해당하는 영역을 다수의 회전을 통해 각각의 슬라이스 데이터를 획득하는 반면에, 콘빔 CT는 한 번의 회전으로 전체 볼륨 데이터를 획득한다. 따라서 콘빔 CT는 영상획득 과정이 기존의 CT에 비해 간편할 뿐만 아니라 더 높은 해상도의 3차원 영상을 제공한다¹⁰⁾. 콘빔 CT를 이용한 3차원 영상유도 임플란트 시술 시스템은 3차원 영상의 획득, 임플란트 계획 및 시술이 일괄적으로 수행될 수 있으므로 전체적인 치료과정을 단축시킬 수 있으며 시간적, 경제적 측면에서 환자의 부담을 경감시킬 수 있다.

결론적으로, 영상유도 임플란트 시술 방법은 드릴의 지속적인 영상화를 통하여 드릴링 과정의 연속적인 모니터링을 제공하며, 시술 중 육안으로 관찰이 불가능한 부위에 대한 3차원적인 정보를 제공한다. 결과적으로, 술자는 미리 계획된 임플란트를 환자에게 상호작용적으로 식립할 수 있다. 또한 임상 응용에 충분한 정확도를 제공하기 때문에 임플란트 식립의 안정성과 효율성을 증가시킨다. 따라서, 시술자의 경험과 수기 능력에 크게 의존하는 현재의 임플란트 시술을 보조함으로써, 시술자 입장에서는 능력 의존도를 줄여 시술자 개인의 성공률을 높일 수 있다. 삼차원 영상유도 임플란트 시술 방법에 콘빔 CT를 활용하면 3차원 영상의 획득, 임플란트 계획 및 시술에 걸리는 시간을 단축할 수 있으며 일괄적인 치료가 가능하다.

참 고 문 헌

1. 이삼선, 최순철, 성공적인 임플란트시술을 위한 방사선검사. 대한구강악안면방사선학회지 2005; 35: 63-8
2. Fortin T, Bosson JL, Coudert JL, Isidori M. Reliability of preoperative planning of an image-guided system for oral implant placement based on 3-dimensional images: an in vivo study. Int J Oral Maxillofac Implants. 2003; 18(6):886-93.
3. Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2: rapid-prototype medical modeling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure. Int J Periodontics Restorative Dent. 2006; 26(4):347-53.
4. Fortin T, Champleboux G, Bianchi S, Buatois H, Coudert JL. Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT-scan images through a robotic drilling machine. Clin Oral Implants Res. 2002; 13(6):651-6.
5. Roberts DW, Strohhahn JW, Hatch JF, Murray W, Kettenberger H. A, frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope. J Neurosurg 1986; 65:545-9.
6. Casap N, Wexler A, Lustmann J. Image-Guided Navigation System for Placing Dental Implants. Compend Contin Educ Dent. 2004; 25(10):783-8
7. Casap N, Wexler A, Persky N, Schneider A, Lustmann J. Navigation surgery for dental implants: assessment of accuracy of the image guided implantology system. J Oral Maxillofac Surg. 2004; 62(9 Suppl 2):116-9.
8. Kramer FJ, Baethge C, Swennen G, Rosahl S. Navigated vs. conventional implant insertion for maxillary single tooth replacement. Clin Oral Implants Res. 2005;16(1):60-8
9. Ng FC, Ho KH, Wexler A. Computer-assisted navigational surgery enhances safety in dental implantology. Ann Acad Med Singapore. 2005; 34(5):383-8.
10. Danforth RA, Dus I, Mah J. 3-D Volume Imaging for Dentistry: A New Dimension. J Calif Dent Assoc. 2003; 31(11):817-23.