

구강악안면외과 수술을 위한 가상현실(VR) 시뮬레이션의 활용

문성용

조선대학교 치과대학 구강악안면외과학교실

ORCID ID

Seong-Yong, Moon,  <https://orcid.org/0000-0002-7513-4404>

ABSTRACT

Virtual Reality(VR) simulation for Oral and Maxillofacial Surgery

Seong-Yong, Moon

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Chosun University

The aim of this study is to review the surgical application of virtual reality(VR) and augmented reality(AR) and report the cases by using virtual reality simulation and augmented reality navigation surgery. Virtual reality can provide an intuitive simulation that anyone can use easily and even if the understanding of the software is low. Virtual reality performs the operation in advance by reproducing the actual operation situation, and make the pre-operative plan. Virtual reality that makes this simulation possible, and this virtual reality-based simulation can also be used for surgical education. Additionally, from the virtual planning can be applied for making 3D printing surgical guide using exporting the pre-operative planning data. Augmented reality could be highly useful for navigation in real operation.

Key words : Virtual Reality, Augmented Reality, Oral and Maxillofacial Surgery, Orthognathic surgery, Oral cancer

Corresponding Author

Seong-Yong Moon DDS,MS,PhD, Professor

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Chosun University, Chosundae gil 7, Gwangju, 61452, Korea.

Tel : +82-62-220-3810 / Fax : +82-62-222-3810 / E-mail: msygood@chosun.ac.kr

ACKNOWLEDGEMENT This research was supported by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number : HI18C1224).

I. 서론

메타버스 시대에 가상현실과 증강현실의 활용은 의료계에도 많이 활용되어지고 있다. 이는 최신의 IT 기술들을 활용하여 의료에 활용하는 연구가 많이 늘어나기 때문이다. 컴퓨터 기반의 수술은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수술계획 그리고 3D 프린팅을 활용한 수술용 가이드의 제작 수술시에 네비게이션의 사용 등 최근 외과 영역에서 많이 활용되고 있으며 이러한 수술방법은 수술의 정확도와 수술시간을 줄이는 것 뿐만 아니라 입원기간의 감소 수술 후 합병증의 감소와 더불어 수술비의 감소 효과를 가져올 수 있게 되었다¹⁾. 이러한 컴퓨터 기반의 수술을 실제 수술에서 활용하기 위해서는 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 이해가 필요하며 소프트웨어를 의료인이 직접 활용하기 위해서는 시간적 투자를 통한 학습이 필요하다. 하지만 의료인들이 이러한 일을 하는데 한계가 있어 최근에는 대부분 전문 엔지니어들이 시뮬레이션을 시행하고 결과에 대한 확인 및 수정을 의료인의 의견수렴을 통해 이루어 지기에 미세한 계획의 수정이나 원하는 수술계획을 정확하게 반영하는데 한계가 있을 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 누구나 쉽게 사용가능한 직관적인 시뮬레이션의 도입이 필요하고 소프트웨어의 이해도가 낮더라도 실제 수술을 시행하는 상황을 재현하여 수술을 미리 시행하고 시행착오를 통해 수술계획을 설정하고 이를 수술에 반영하는 것이 훨씬 더 현명한 방법이 될 수 있다. 이러한 시뮬레이션을 가능하게 해주는 것이 바로 가상현실이 될 수 있으며, 이러한 가상현실 기반의 시뮬레이션은 수술 교육에도 활용 가능하며 수술계획 설정 그리고 수술 전 계획된 데이터를 활용한 3D 프린팅 수술용 가이드 더 나아가 증강현실 기반의 네비게이션으로의 활용성도 높다고 하겠다. 가상현실 기반의 시뮬레이션은 의사에게 더 분명한 해부학적 이해를 제공할 수 있으며 실제 수술을 가상으로 진

행함으로써 실제 수술에서의 효율을 높이게 되며, 환자에게 어떠한 손상을 주지 않으면서 여러 번의 수술을 가상으로 진행해 볼 수 있다²⁾. 현재까지 의료에서 가상현실의 활용은 교육적인 목적, 즉 수술 술기의 훈련에 관한 연구가 많았으며, 실제 수술에 활용하는 연구는 많지 않았다³⁾.

1987년 Watanabe 등은 수술 중에 활용가능한 see-through 기반의 새로운 장치를 개발하여 수술 중에 실시간으로 위치를 추적하는 증강현실 기반의 수술을 보고하였다⁴⁾. 구강악안면외과 영역에서는 1997년 Wagner 등이 악교정 수술에서 see-through HMD(Head-mounted display)를 활용하여 Le Fort I 절단술을 시행하고, 연조직의 변화를 비교할 수 있는 증강현실 기반의 수술을 보고하였다⁵⁾. 또한 본 저자는 상악골 절제술⁶⁾과 악교정 수술⁷⁾에 가상현실 기반의 시뮬레이션과 증강현실 네비게이션 수술 시스템을 활용한 증례를 보고하였다. 이와 같이 실제 수술에서 활용 가능한 증강현실 기반의 가이드 수술은 3D 프린팅 기반의 가이드 수술을 대체할 수 있는 방법으로 고려할 수 있다.

본 연구에서는 가상현실 기반의 시뮬레이션과 증강현실 기반의 가이드 수술의 구강악안면 영역에서의 활용성에 대한 고찰해보고자 한다.

II. 본론

컴퓨터 기반의 수술은 2D 모니터 화면에서 3D 모델 기반의 시뮬레이션을 시행하는 것이 특징이다. 가상현실 기반의 시뮬레이션은 3D 공간에서 3D 모델의 시뮬레이션을 진행하기에 보다 직관적이며 실제 수술과정을 재현하는데 도움이 되어 수술 술기 교육이 요구되는 전공의들에게는 교육적 도구로서 활용이 가능하다. 구강악안면외과에서 골을 절제하고 재건하는 수술

시에 컴퓨터 기반의 시뮬레이션과 가이드 제작이 활용되고 있으며, 이러한 수술전 계획은 실제 수술시에 정확도와 수술시간의 감소라는 이점을 제공한다.

가상현실 기반의 수술 시뮬레이션의 활용은 신경외과, 정형외과, 구강악안면외과 영역에서 활용된 보고들이 있으며, 신경외과와 정형외과 영역에서 골의 절제 혹은 드릴링의 시뮬레이션에 가상현실을 활용하여 수술전 계획을 세우는데 활용하였으며, 구강악안면외과 영역에서는 골의 절제 및 재건수술, 양악 수술의 시뮬레이션시에 골절제선의 설정 및 골의 이동에 활용함이 보고 되었다⁸⁾.

이러한 가상현실 기반의 수술 시뮬레이션은 의료영상으로부터 3D 모델을 재건하고 재건된 3D 모델을 VR 환경에서 구동가능한 소프트웨어를 활용하게 된다. Head Mounted Display (HMD) 기기와 controller를 활용하여 동작하기에 2D 마우스를 이용하는 시뮬레이션보다는 사용자의 편리성이 높다고 말할 수 있다. 하지만 현재까지 구현된 가상현실 기반의 시뮬레이션은 컴퓨터 기반의 디자인을 시행하는데 한계가 있

으며, 이러한 한계로 2D 기반의 시뮬레이션 소프트웨어보다 정확한 시뮬레이션이 어려울 수 있다. 더불어 실제 활용 가능한 소프트웨어가 많지 않아 직접 구현하거나 고가의 비용으로 소프트웨어를 활용해야 하기에 현재는 임상가들의 접근성이 높지 않은 실정이다.

구강악안면외과에서 가상현실 기반의 시뮬레이션의 활용은 경조직의 수술에 그 활용도가 높다 하겠다. 이는 의료영상 데이터를 활용하여 경조직의 3D 모델을 활용한 시뮬레이션이 비교적 실제 수술시에도 재현성이 높기 때문이다. 특히 악골의 절제 및 재건수술에 활용 가능하며 실제 수술시에 절제되는 범위의 설정과 재건술에 활용되는 비골 혹은 장골의 채취 부위 그리고 골의 형태를 재현하는데 활용할 수 있다. 장골 피판을 이용한 하악골 재건시에 가상현실 시뮬레이션은 Unity 3D를 통해 구현된 VR 시뮬레이션 소프트웨어를 통해 환자의 의료영상 데이터를 3D 모델로 재건하여 가상의 환경에서 하악골의 절제 범위를 설정하고 절제된 부위에 장골을 이동하여 적절한 절제범위를 재현하는 시뮬레이션을 시행할 수 있게 된다(Fig. 1).

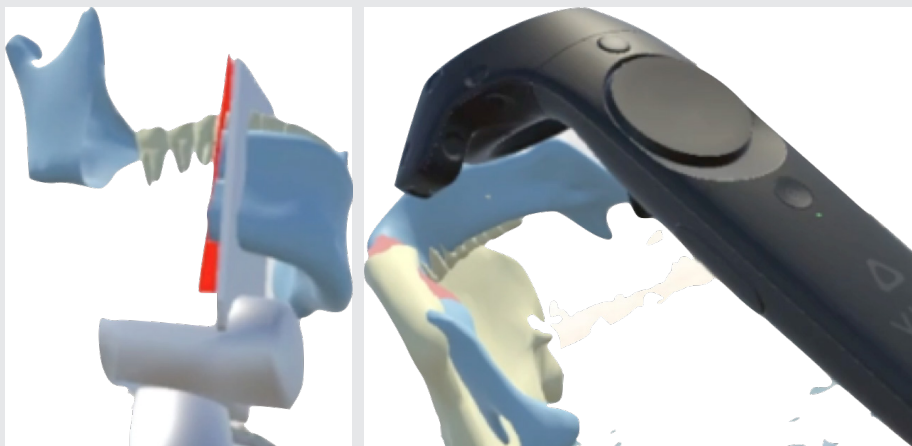


Figure 1. 가상의 환경에 하악골을 가상으로 절제하고(좌) 절제된 부위에 장골을 이동하여 하악골의 본래의 형태에 맞게 배치하여(우) 절제된 부위만큼 장골의 채취부위와 범위를 결정할 수 있다.

악교정 수술을 위한 VR 시뮬레이션 소프트웨어는 Unity 3D 를 통해 자체 개발하였으며, 환자의 3D 모델을 활용하여 가상의 환경에서 자유롭게 수술전 시뮬레이션을 시행할 수 있다. 상악골의 골절단술 및 하악골의 골절단술을 가상의 환경에서 시행할 수 있으며, 또한 악골의 이동을 3차원공간에서 시뮬레이션 할 수 있어 실제적인 악골의 움직임을 확인하는데 도움이 될 수 있다. 상악골의 위치이동을 통한 웨이퍼의 제작, 하악골 이동후에 최종 교합을 재현하는 웨이퍼 제작을 위한 시뮬레이션에 활용이 가능하다(Fig. 2).

이러한 시뮬레이션의 결과를 이용하여 시뮬레이션된 3D 모델을 CAD 소프트웨어를 통해 수술용 가이드를 디자인하고 3D 프린팅 가이드를 제작할 수 있게 된다(Fig. 3).

또한 시뮬레이션 후에 계획된 3D 모델을 Unity 3D 를 통해 제작된 AR 소프트웨어를 활용하여 실제 수술 방에서 마커를 활용하거나 수동으로 모델의 위치를 중첩시켜 수술중에 가이드로서의 역할을 수행할 수 있게 된다(Fig. 4).

III. 총괄 및 고안

가상현실과 증강현실 기술은 새롭게 개발된 기술은 아니다. 이전부터 연구되어왔고 실제 수술에도 활용되어 왔다. 하지만 최근 이러한 연구가 더 활발해지는 것은 과거보다 더 발달된 하드웨어 기술과 소프트웨어의 발달 때문이라고 볼 수 있다²⁾.

최근에 가상현실의 의학적 활용은 수술 술기 훈련 및 환자의 진단과 시뮬레이션에 관한 연구들이 주를 이룬다. 가상현실을 활용한 교육 훈련은 대부분 수술 관찰을 통해 이루어지는 수술 술기 교육의 한계와 실제 환자를 대상으로 수술을 진행하기 어려운 전공의들을 위한 교육적 도구로서 가치를 인정받는다. 신경외과 영역에서 수술 술기 교육에 가상현실의 활용은 매우 효과적이나 이러한 술기 교육을 위한 비용 부담이 필요하며, 실제 교육 콘텐츠 개발이 많지 않으며 그 효과를 보이기 위한 콘텐츠 개발에도 상당한 비용 부담을 갖게 된다⁹⁾. 구강악안면외과 영역에서도 난이도를 갖는 수술 교육의 한계는 분명하고, 이러한 술기 교육은 대부분

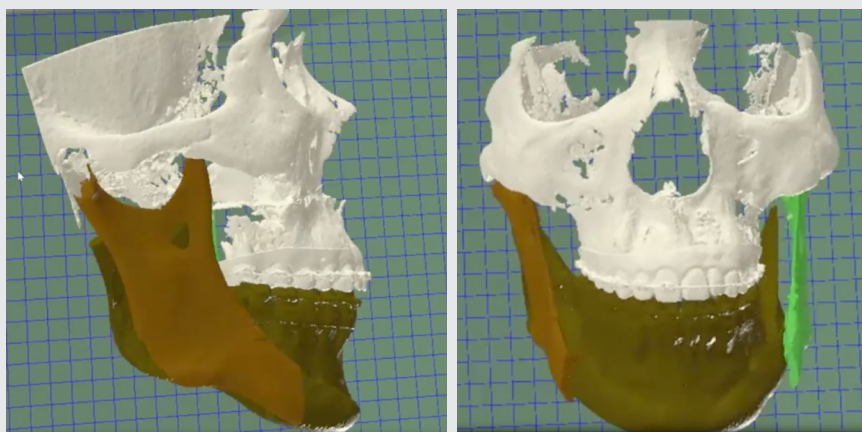


Figure 2. Oculus Quest 2를 활용하여 가상의 3차원 공간에서 상, 하악골의 이동을 통해 수술전에 계획을 시뮬레이션 할 수 있다.

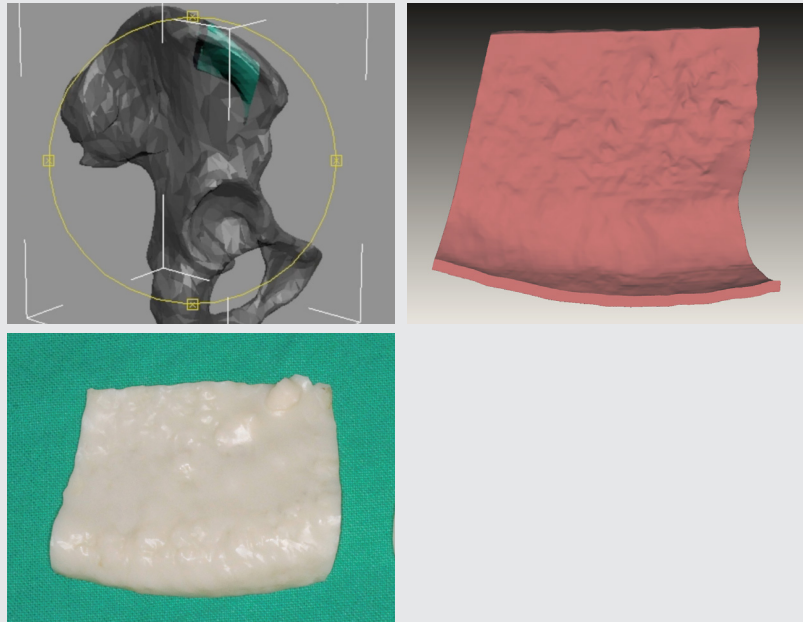


Figure 3. CAD 소프트웨어를 활용한 가이드의 디자인 및 3D 프린팅



Figure 4. 하악골 절제시에 절제선을 악골에 증강하여 보여주어 수술시에 실시간으로 확인이 가능하다.

수술방에서의 수술 관찰 혹은 수술 영상을 통해 이루어지게 된다. 전공의들의 술기 교육에 대한 미충족은 양질의 의료인의 양성을 해야 하는 교육기관에서 해결하기 어려운 문제이며, 이러한 교육적 문제의 해결책으로서 가상현실이 대안이 될 수 있다. Pulijala 등은 HMD와 Leap Motion을 활용하여 악교정 수술을 위한 교육용 훈련 도구 개발을 통해 전공의들에게 활용하여 그 효용성과 활용가치가 있음을 보고하였다¹⁰⁾.

가상현실의 수술에의 활용은 크게 두가지로 구별할 수 있다. 진단을 위한 도구로서의 활용과 수술의 시뮬레이션을 통한 수술계획의 설정이다. 첫번째로 진단과 관련해서는 단순히 의료영상에 대한 현재의 뷰어를 대체하는 역할을 하는 것으로 모니터에서 보여지는 의료영상을 가상의 환경에서 볼 수 있으며, 이는 증강현실 안경을 활용하여 실제 수술시에 모니터 화면을 보지 않고 수술하는 도구로도 활용되어지고 있다. 가상현실에서 구현 가능한 기능으로는 실시간 데이터 가져오기, DICOM 데이터 세트 사용, 직관적 제어를 활용한 인터페이스의 활용이다¹¹⁾. 또 다른 진단에의 활용은 진단에 필요한 요소들을 결합하여 환자를 평가하는 도구로 활용하는 방법이다. 실제로 안과영역에서 사시의 진단을 위해 가상현실을 활용하여 이미지 기반의 동공 추적 기술과 안구의 위치 변화를 측정하여 높은 정확도로 진단하는 결과를 보고하였다¹²⁾.

두번째로 수술 시뮬레이션을 통한 수술 전 계획의 설정은 기존의 컴퓨터 기반의 수술과 같은 과정이라 볼 수 있다. 다만 2D 모니터에서 시행되는 것을 3D의 가상공간으로의 환경 변화와 더불어 직관적인 시뮬레이션이 가능한 점이 그 차이라 할 수 있다. 수술 계획을 시뮬레이션 하기 위해서는 가상환경에서의 CAD 기능이 구현되어야 하지만 현재 이러한 기술 구현이 완벽하게 이루어지지 않아 구현의 한계가 존재하지만 이는 기술적인 개발을 통해 극복할 수 있는 부분이다. 악골의 절제술을 위한 시뮬레이션은 3D 메쉬의 조작이 가능한 소프트웨어

어의 구현을 통해 가상의 환경에서 골절제를 시행하고, 악골의 이동 혹은 3D 오브젝트의 이동 및 회전등의 조작은 충분히 가능하여 악교정 수술에서 이루어지는 상악골 및 하악골의 이동과 변화를 평가하는 시뮬레이션을 시행할 수 있다. 환자 기반의 가상현실 시뮬레이터의 활용은 실제 수술을 시행하는데 활용 가능하며, 새로운 수술방법을 시도하는 도구로도 활용될 수 있다¹³⁾. 또한 실제 수술계획을 설정하고 설정된 계획을 실제 수술에 활용하기 위한 수술용 가이드 제작을 할 수 있다.

가상현실, 증강현실의 하드웨어의 발달과 소프트웨어의 개발이 진행됨에 따라 의료에서의 활용 가능성은 더욱 높아질 수 있다. 증강현실에 활용 가능한 안경, 가상현실에 활용가능한 HMD 등은 현재에도 다양한 의료영역에서 그 활용성을 보고하고 있으며, 실제 수술에도 활용하고 있다. 현재 다양한 의료영역에 증강현실을 활용하여 진단 및 수술에 적용하고 있지만, 이는 대부분 단순히 영상을 수술중에 확인하는 용도로 사용된다. 본 연구에서는 증강현실을 이용해서 기존의 3D 프린팅 기반의 수술용 가이드를 대체하는 역할을 할 수 있음을 보고 하였다. 이러한 기술 적용은 소프트웨어 및 하드웨어의 향상된 기능 개발을 통해 향후 의료영역에서 그에 대한 활용 가치를 높이게 될 것이다.

IV. 결론

본 연구에서는 구강악안면외과 영역에서 가상현실을 활용한 악골 절제술과 재건술 및 악교정수술을 위한 시뮬레이션 그리고 실제 수술에서 가이드로서 증강현실의 역할에 대한 고찰을 통해 가상현실을 활용한 시뮬레이션은 직관적이고, 의료인이 쉽게 활용할 수 있는 도구이며, 증강현실은 수술 전 계획을 실제 수술에서 3D 프린팅 기반의 수술용 가이드를 대체할 수 있는 미래 지향적인 기술로서 활용 가치가 있다 하겠다.

참 고 문 헌

1. Gil RS, Roig AM, Obispo CA, Morla A, Pagès CM, Perez JL. Surgical planning and microvascular reconstruction of the mandible with a fibular flap using computer-aided design, rapid prototype modeling, and precontoured titanium reconstruction plates: a prospective study. *The British journal of oral & maxillofacial surgery*. 2015; 53:49-53.
2. Yan C, Wu T, Huang K, He J, Liu H, Hong Y, et al. The Application of Virtual Reality in Cervical Spinal Surgery: A Review. *World Neurosurg*. 2020; 145:108-113.
3. Ruikar DD, Hegadi RS, Santosh KC. A Systematic Review on Orthopedic Simulators for Psycho-Motor Skill and Surgical Procedure Training. *J Med Syst*. 2018; 42:168.
4. Watanabe E, Watanabe T, Manaka S, Mayanagi Y, Takakura K. Three-dimensional digitizer (neuronavigator): new equipment for computed tomography-guided stereotaxic surgery. *Surg Neurol*. 1987; 27:543-7.
5. Wagner A, Rasse M, Millesi W, maxillofacial REJ of oral and, 1997. Virtual reality for orthognathic surgery: the augmented reality environment concept. *Elsevier*. 1997; 55:456-62.
6. Kim HJ, Jo YJ, Choi JS, Kim HJ, Kim HJ, Park IS, et al. Virtual Reality Simulation and Augmented Reality-Guided Surgery for Total Maxillectomy: A Case Report. *Appl Sci [Internet]*. 2020; 10:6288-6297.
7. Jo YJ, Choi JS, Kim J, Kim HJ, Moon SY. Virtual Reality (VR) Simulation and Augmented Reality (AR) Navigation in Orthognathic Surgery: A Case Report. *Appl Sci*. 2021; 11:5673-5680.
8. Fushima K, Kobayashi M. Mixed-reality simulation for orthognathic surgery. *Maxillofacial plastic and reconstructive surgery*. 2016; 38:1-12.
9. Fiani B, Stefano FD, Kondilis A, Covarrubias C, Reier L, Sarhadi K. Virtual Reality in Neurosurgery: "Can You See It?"-A Review of the Current Applications and Future Potential. *World Neurosurg*. 2020; 141:291-298.
10. Pulijala Y, Ma M, Pears M, Peebles D, Ayoub A. An innovative virtual reality training tool for orthognathic surgery. *Int J Oral Max Surg*. 2018; 47:1199-1205.
11. Bartella AK, Kamal M, Scholl I, Schiffer S, Steegmann J, Ketelsen D, et al. Virtual reality in preoperative imaging in maxillofacial surgery: implementation of "the next level"? *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2019; 57:644-648.
12. MIAO Y, JEON JY, PARK G, HEO H. VR Based Strabismus Diagnosis using Image Processing. *Struct Heal Monit* 2019. 2019;
13. Willaert WIM, Aggarwal R, Herzeele IV, Cheshire NJ, Vermassen FE. Recent Advancements in Medical Simulation: Patient-Specific Virtual Reality Simulation. *World J Surg*. 2012; 36:1703-1712.