

Journal of Korean Society of Spine Surgery



Spine Surgery Using Augmented Reality

Sang-Min Park, M.D., Ho-Joong Kim, M.D., Jin S. Yeom, M.D., Yeong Gil Shin, M.D.

J Korean Soc Spine Surg 2019 Mar;26(1):26-32.

Originally published online March 31, 2019;

<https://doi.org/10.4184/jkss.2019.26.1.26>

Korean Society of Spine Surgery

Asan Medical Center 88, Olympic-ro 43 Gil, Songpa-gu, Seoul, 05505, Korea

Tel: +82-2-483-3413 Fax: +82-2-483-3414

©Copyright 2017 Korean Society of Spine Surgery

pISSN 2093-4378 eISSN 2093-4386

The online version of this article, along with updated information and services, is
located on the World Wide Web at:

<http://www.krspine.org/DOIx.php?id=10.4184/jkss.2019.26.1.26>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Spine Surgery Using Augmented Reality

Sang-Min Park, M.D., Ho-Joong Kim, M.D., Jin S. Yeom, M.D., Yeong Gil Shin, M.D.*

Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University College of Medicine and Seoul National University Hospital, Seongnam, Korea

* Computer Graphics & Image Processing Laboratory, Department of Computer Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

Study Design: Review article.

Objectives: To present the latest knowledge on spine surgery using augmented reality (AR).

Summary of Literature Review: AR is a new technology that simulates interactions with real-world surroundings using computer graphics, and it is a field that has recently been highlighted as part of the fourth industrial revolution.

Materials and Methods: Review of related literature and introduction of latest research.

Results: Spine surgery using AR is currently in its early stages. If industry, academia, and research institutes cooperate and develop, spine surgery using AR is highly likely to develop to the next level.

Conclusions: Spine surgeons should strive to develop relevant technology.

Key Words: Augmented reality, Spine surgery, 4th industrial revolution

서론

증강현실(Augmented reality)은 사람이 지각하는 것에 컴퓨터가 만든 영상을 덧씌우는 것으로 정의된다.¹⁾ 즉, 실세계와 가상세계를 실시간으로 혼합하여 사람에게 제공하여 보다 향상된 몰입감과 현실감을 제공하는 기술이다.²⁾ 실제 환경정보를 유지하며 가상의 정보를 더한다는 점에서 증강현실 기술은 실제 환경을 컴퓨터가 생성한 가상현실 기술과는 차이점을 지닌다. 최근 증강현실 기술에 대한 관심이 높아지고 있으며, 가상현실과 인터넷의 결합 등으로 인해 증강현실은 점차 대중화되고 있다. 증강현실은 교육, 의료, 건축, 군사 등 많은 분야에서 이용이 가능하다. 이러한 발전에도 불구하고 의료분야, 특히 수술실에서 실제로 사용할 수 있는 증강현실 시스템은 아직 없다.

증강현실을 이용한 외과 수술에 대해 최근 들어 많은 논문들이 나오고 있으나 실제 적용보다는 적용가능성에 대한 보고이며, 정형외과 영역이나 척추분야는 더더욱 없다.³⁻⁵⁾ 2011년에 Weiss가 처음으로 척추 중재술에 실험적으로 증강현실을 사용하여 보고 하였으며,⁶⁾ 최근 Philips 사에서 증강현실을 이용한 척추경 나사 삽입 항법장치를 개발하여 그 결과를 보고하였다.⁷⁻⁹⁾ 하지만 이 장치는 아직 우리나라에서 사용하기 어려우며, 고가의 부속장비가 필요하다는 단점이 있다. 또한 증강현실을 이용한 현미경 감압술에 대한 보고도 있었지만 아직 실험단계인 수준이다.¹⁰⁾ 아직 우리나라에서 상용화된 증강현실을 이용한 수술 항법장치는 없으며, 현재 우리나라에서 개발 중인 증강현실 수술 시스템을 소개하고자 한다.

본론

1. 증강현실 기술을 이용한 척추 수술 사례

척추 수술은 정형외과 수술 중 가장 높은 수술 정확도를 요구하는 수술 중 하나이다. 컴퓨터나 로봇을 이용해 정확도를 높이기 위한 노력이 진행 중이다. 수술 중 지원 방법으로는 수술 내 항법장치가 대표적이다. 최근 들어 증강현실 기술을 적용하기 위한 연구가 진행 중이며 외국에서는 이미 진행되고 있다. 척추수술에서는 대표적인 사례로 Philips 사의 Hybrid OR solution 이 있다.⁹⁾ 이 기술은 증강현실을 이용하긴 하지만, 기존 항법장

Received: November 11, 2018

Revised: November 15, 2018

Accepted: December 22, 2018

Published Online: March 31, 2019

Corresponding author: Jin S. Yeom, M.D.

ORCID ID: Sang-Min Park: <https://orcid.org/0000-0001-6171-3256>

Ho-Joong Kim: <https://orcid.org/0000-0002-8205-4648>

Jin S. Yeom: <https://orcid.org/0000-0002-8241-5335>

Spine Center and Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University College of Medicine and Seoul National University Bundang Hospital, 82, Gumi-ro 173 Beon-gil, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 13620, Republic of Korea

TEL: +82-31-787-7195, **FAX:** +82-31-787-4056

E-mail: highcervical@gmail.com

*이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-018715, (K-AR 1세부) AR기반 수술용 개발툴킷 및 응용개발)

치와 같이 모니터에 수술화면을 띄워주고 그 위에 그래픽을 증강한다는 점에서 다소 아쉬움이 남는다. 여러 카메라를 이용해 다각도에서 컴퓨터 그래픽을 출력한다는 점에서 장점이 있다.

현재 국내에서 진행 중인 연구에는 과학기술정보통신부와 정보통신기획평가원(IITP) 주관 가상증강분야 혁신성장동력프로젝트 있다. 본 과제에서는 증강현실 기술을 이용한 척추경 나사 삽입 시스템을 개발 중에 있다.

2. 증강현실 시스템의 구성

증강현실 시스템은 일반적으로 가상환경을 제공하는 출력장치, 가상환경을 조종하는 인터페이스 장치로 구성된다. 가상환경은 모니터나 Head-mounted display (HMD)로 표현되는 환경으로 컴퓨터 프로그램을 이용하여 표현한다. 가상환경을 표현하는 출력장치는 이용되는 장비에 따라 데스크톱형, 투사형, HMD형의 세 가지로 구분된다. 데스크톱형은 최근 Philips사에서 개발한 형태로, 카메라를 이용하여 모니터에 수술장면과 컴퓨터 그래픽을 동시에 띄우는 형태이다.⁹⁾ 투사형은 태블릿 등을 이용하는 형태로, 대표적으로 포켓몬고와 같은 게임에서 이용한 방식이다. 최근 이 방법을 이용한 중앙절제술에 대해서 보고된 바가 있다.¹¹⁾ 마지막으로 HMD형이 있으며, 이는 형태가 가장 시각적 몰입감을 제공한다. HMD는 안경 모양의 틀에 양눈에 각각 작은 LCD를 삽입한 형태로 두 눈 앞에 직접 영상을 투사하는 장치이다. 상용화된 대표적인 기기로 Microsoft사의 HoloLens, ODG사의 R-7이 있다(Fig. 1). HMD는 점차 개

발되어 많이 가벼워졌지만, 아직 크기가 크고 무거워, 오랜 시간 동안 착용시 시각 피로를 초래하고, 가상환경과 시각간의 차이로 인해 어지러움이나 멀미를 일으키는 cyber-sickness를 초래하기도 한다.

인터페이스 장치는 가상현실을 조종하는 장치로 사람-컴퓨터의 상호작용의 근간이 되는 매우 중요한 장치이다. HMD에 장착된 머리운동을 감지하는 센서인 head tracker는 머리운동에 따라 그에 맞춘 영상을 구현할 수 있게 하여 일반 모니터와 달리 공간의 제약 없이 사용자 주위의 가상세계 영상을 투사할 수 있는 장점이 있다. 그 밖에도 눈의 움직임을 측정하는 eye tracker, 카메라를 이용해 손의 움직임을 측정하는 방법(gesture) 등 최근 들어 활발한 연구가 진행 중이다. 이 때 피드백은 실시간으로 전달되어야 가상환경에서의 몰입감이 더욱 좋아진다.

3. 척추경 나사 삽입 시뮬레이터

먼저 척추경 나사 삽입을 하기 전 척추 수술을 계획을 하여야 한다. 이러한 계획은 척추경 나사 삽입 시뮬레이터 소프트웨어를 통해 한다. 이 소프트웨어는 전산화 단층촬영 영상을 다평면 및 3차원 재구성을 하여 나사 삽입 계획을 도와준다. 또한, 3차원 재구성 영상을 출력하여 실물과 같은 크기의 모양을 가진 3차원 모델을 만들 수 있으며, 이를 STL (stereolithography)파일로 출력하면 모니터나 HMD의 화면에 3D로 보여줄 수 있다(Fig. 2).



Fig. 1. Microsoft HoloLens (top) and ODG R-7 (bottom).

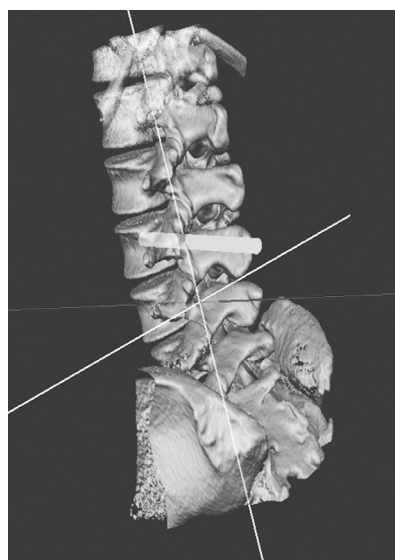


Fig. 2. Three-dimensional reconstructed model of the spine, simulated by pedicle screw simulator software.

4. 수술실 내 항법장치

수술실 내 항법장치는 시뮬레이터 소프트웨어에서 계획한 3차원 척추 재구성 영상의 특정 부위가 실제 환자의 어느 위치에 해당하는지 알려주고, 환자나 수술기구의 움직임을 실시간으로 추적하여 컴퓨터 내에 있는 환자의 영상에 중첩하여 표시해주는 장치이다. 일반적인 컴퓨터 항법장치는 모니터에 3차원 혹은 다평면 재구성 CT 영상을 출력하고, 이 영상과 수술 계획을 기반으로 항법장치의 유도에 따라 수술을 시행하게 된다. 이때 사용되는 항법장치의 종류에 따라서 영상 획득방법이나 영상 재구성 방식, 수립여부와 방법, 수술 유도 방식이 달라진다. 증강현실 기술에서도 마찬가지로의 방법이나, 모니터 혹은 HMD에 3차원 재구성 영상이 출력되며(Fig. 3) 실제 수술필드와 직접 매칭되어 계획된 3차원 모델이 실제 척추에 겹쳐 보이게 된다. 본 과제에서 개발 중인 형태는 모니터에 출력되는 형태가 아닌 HMD에 직접 출력되는 형태로 HMD의 화면을 통해 실제 수술 필드를 보면서 화면에 3차원 모델이 출력되어 실제 척추에 겹쳐보이게 된다.

5. 수술기구와 척추의 추적

항법장치는 척추와 수술기구의 움직임을 추적하기 위한 추적장치(Tracking system)가 반드시 필요하다. 정형외과 영역에서 사용 중인 추적 장치는 대부분 광학 추적 장치이며 그 중에서도 적외선을 이용하는 방식으로, 흔히 3-6개의 광학 마커에서 나오는 적외선을 2-3개의 적외선 카메라를 이용하여 인식하며, 광학 마커가 부착된 수술 기구나 뼈의 위치와 방향을 실시간으로 추적하여 실제 3차원 공간에서의 마커의 위치 좌표를 컴퓨터에서 계산하게 된다. 수술 기구의 크기와 형태 및 수술 기구에 부착된 마커와 수술 기구의 상대적인 위치를 컴퓨터에 미리 입력해두면, 적외선 카메라를 이용하여 이들 마커의 위치만을 추적함으로써 수술 기구의 위치와 방향을 계산할 수 있다. 또한 수술 중에는 수술 기구뿐 아니라 척추도 같이 움직이기 때문에 척추의 위치도 추적하여야 한다. 이를 위해서 척추에도 마



Fig. 3. Three-dimensional reconstructed model of the spine, which can be seen using a head-mounted device.

커를 부탁하며, 보통 뼈에 삽입하는 핀 형태의 기구나 뼈를 잡을 수 있는 집게형 기구 등에 광학 마커를 부착한다. 이를 동적 참조 장치(Dynamic reference base, DRB)라고 한다. 이 DRB를 척추에 부착한 후 적외선 카메라로 DRB 위치만을 추적하면 실시간으로 척추의 위치를 추적할 수 있다. 증강현실 기술에서도 위와 동일하게 추적장치를 구성하지만, 광학마커가 아닌 AR마커를 사용한다는 점에서 차이가 있다. AR마커는 보통 그림으로 구성되어 있으며 그림의 특징 점을 기반으로 위치를 추적하게 된다(Fig. 4A). 광학마커는 일반적으로 수명이 있으며, 단가가 비싸다는 단점이 있지만 AR마커는 단순한 그림이므로 크기도 작고 수명도 없고, 프린터기로 출력할 수도 있다. AR마커는 적외선 카메라로 마커를 추적할 수도 있지만, 적외선 카메라는 단가가 비싸 쉽게 구성하기 어렵다. AR마커는 적외선 카메라가 아닌 일반적인 RGB 카메라로도 인식 및 추적이 가능하여, 카메라의 구성이 좀더 자유롭고 가격이 저렴하다 (Fig. 4B). 하지만 RGB 카메라의 해상도에 따라 정확도가 달라지기에 정확도를 올리기 위해선 성능이 좋은 카메라가 필요하다.

6. 환자-영상 간 정합(Patient to image registration)

수술 전 미리 촬영한 CT (다평면 재구성 영상 및 3차원 재구성 영상)에서의 척추 좌표계와 실제 척추의 좌표계를 일치시키는 과정이 반드시 필요한데, 이를 환자-영상 간 정합이라고 한다.¹²⁾ 정합을 시행하기전 척추의 CT 영상은 분절별로 분할을

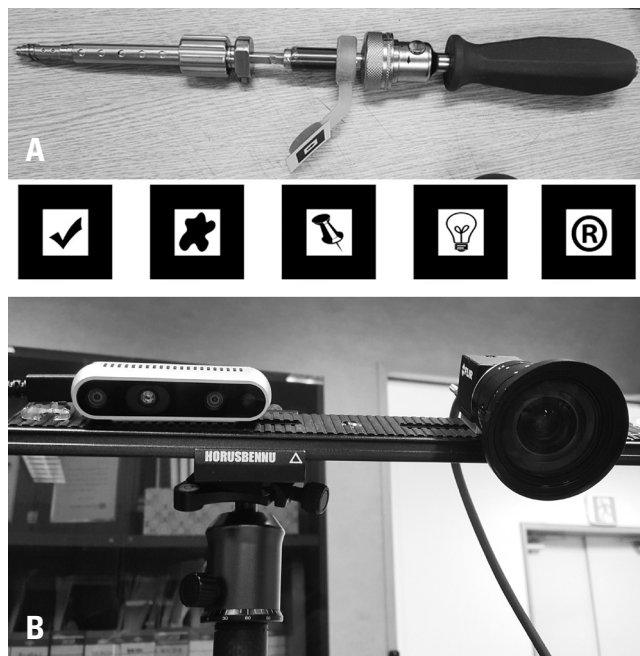


Fig. 4. (A) Augmented reality marker and marker-attached screwdriver. (B) RGB camera.

해야 한다. 척추는 환자의 자세에 따라 변화를 하기 때문에 각 분절과 수술실에서의 척추 형태를 정확하게 정합해야 한다. 정합 방법에는 여러 가지가 있으며 복합정합(Hybrid registration)과 CT-투시기 정합(CT-fluoroscopy registration)이 가장 많이 사용된다.¹³⁾ 복합정합은 편의성 향상과 수행시간 단축을 위해서 표면의 4-6개의 점을 이용한 점 정합을 먼저 시행하여 대략의 위치를 인식시켜준 후(점 정합, paired point registration)에 10여개의 임의의 점을 추가 입력하여 표면 정합(Surface registration)을 시행하는 방법이다. CT-투시기 정합은 주로 최소침습수술에서 많이 사용하며 CT로부터 가상의 C-arm 투시기 영상을 만든 후에, 이를 실제 C-arm 투시기 영상과 비교하여 정합을 시행하는 방법이다(Fig. 5). 추가적으로 3차원 C-arm 투시기 기반(3D C-arm fluoroscopy based) 정합이 있으며, 이 장치는 수술실 내에서 CT와 같은 다평면 재구성 영상 및 3차원 영상을 계산해 내는 것으로 수술 전 미리 CT를 찍을 필요 없이 수술 중에 마커를 부착하고 나서 영상을 얻을 수 있기 때문에 상당히 높은 수준의 정합을 얻을 수 있다. 하지만 이때 사용되는 3D 투시기 장비는 수억 원 대의 고가이기 때문에, 그 사용에는 상당한 제한이 있다.

본 연구에서는 앞서 말한 두가지 방법을 모두 이용하여 개발하고 있으며, CT-투시기 정합을 우선적으로 시행한다. 분절별로 분할된 척추의 CT 영상과 수술실에서 촬영한 영상의 정합이 잘 이루어지지 않거나, 투시기를 사용하기 어려운 상황이라면 몇 개의 점을 이용한 점 정합을 같이 시행한다(Fig. 5).

7. 증강 현실을 이용한 척추 수술용 항법 장치의 작동

척추 수술에 사용되는 CT 기반 항법장치의 작동은 다음과 같은 원리를 통해서 이루어진다. 먼저 DRB (AR마커)를 환자의 척추에 부착한 후에 CT-투시기 혹은 표면 정합을 마치고 나면, RGB 카메라로 DRB의 위치만을 추적함으로써 해당 척추의 움

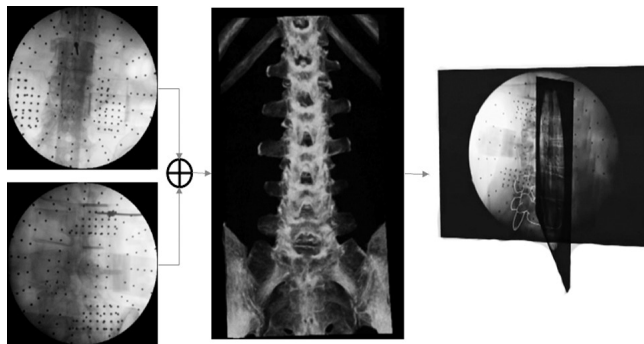


Fig. 5. Schematic illustration of computed tomography (CT)-fluoroscopy registration. After creating a virtual C-arm image from CT, it is compared with the actual anteroposterior and lateral C-arm images to perform registration.

직임을 추적할 수 있다. AR마커가 부착된 수술 기구의 위치 역시 RGB 카메라로 추적할 수 있기 때문에, 환자의 척추와 수술 기구의 위치를 모두 추적할 수 있고, 이들 간의 상대적 위치도 계산할 수 있다. 정합 과정을 통해서 실제 척추의 좌표와 CT상의 좌표를 정합하면, 수술기구의 위치를 다평면 재구성 및 3차원 재구성된 CT 영상에 중첩시켜 보여줄 수도 있다. HMD를 이용한 증강현실기술에서는 현실세계와 가상세계가 하나의 화면에서 보이기 때문에 기구의 모습을 영상으로 출력할 필요는 없지만, 수술기구가 척추내로 삽입이 되면 기구가 보이지 않기 때문에 수술기구 일부 혹은 척추경 나사는 컴퓨터 그래픽으로 출력을 하게 된다.

현재 구성중인 시스템은 기존 CT 기반 항법장치와 유사하게 구성되며, RGB 카메라, AR 마커, C-arm 등으로 구성되어 있

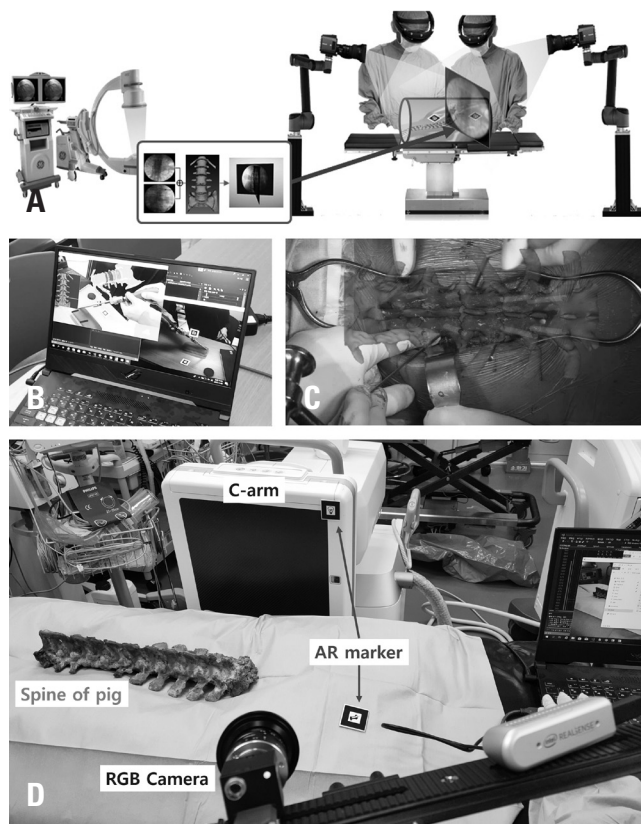


Fig. 6. (A) Schematic illustration of augmented reality (AR)-based spine surgery. After attaching the AR marker (DRB) to the patient's vertebrae, and completing the computed tomography (CT)-fluoroscopy or paired-point matching, the motion of the vertebrae can be tracked by only tracking the position of the DRB with the RGB camera. After the matching process, the 3-dimensional (3D) reconstructed vertebrae from CT images and surgical instruments can be overlaid on the actual patient's vertebrae. (B) Demonstration of the 3D reconstructed model on a notebook display. (C) Example of an augmented spine 3D reconstruction model during spine surgery. (D) The experimental setup consisted of vertebrae, a RGB camera, the C-arm, and the AR marker.

고 DRB를 RGB 카메라로 추적을 하며 C-arm을 이용하여 정합을 시행한다(Fig. 6). 현재는 팬텀실험과 동물실험을 통해 개발 중에 있으며, 아직 임상실험을 할 단계는 아니다.

8. 증강현실 기술 적용의 한계점

증강현실을 이용한 항법장치는 현재 척추경 나사 삽입을 위한 시스템으로 개발 중이지만 추후에는 근골격계 종양이나, 뇌 수술 등으로 발전할 가능성이 있다. 증강현실 기술은 미래에는 수술뿐 아니라 일상생활에서도 많이 사용될 혁신적인 기술이라 생각된다. 하지만 현실적으로 가장 큰 문제는 정확도를 알 수 없는 것이다. 기존 연구에서 증강현실을 이용한 척추경나사 삽입술은 약 2.2 mm 및 0.9도의 오차를 보인다고 하였다.⁸⁾ 하지만 현재 개발 중인 시스템은 기존 연구에 비해 HMD 자체의 오차, HMD와 눈사이의 오차가 추가적으로 발생할 것으로 생각이 되며 이에 대한 오차가 어느정도 일지는 예측이 불가능하며, 이전 연구 결과에 비해 오차가 더 커질 것으로 생각된다. 사용자(외과의)가 정확한 사용수칙을 지키지 않을 경우에는 이보다 오차가 더 커질 수밖에 없다는 것은 명백하다. 따라서, 임상적 정확도에 대한 연구(accuracy validation studies)와 이를 향상시키기 위한 연구와 개발이 아직도 많이 필요한 단계이다. 또한 수술의 정확도가 높아진다고 해서 임상적인 결과(clinical outcomes)가 반드시 더 좋아지는 것은 아니므로, 이에 대한 연구 역시 필요하다. 마지막으로, 어떠한 장비를 이용하든 가장 중요한 것은 이를 사용하는 외과의의 우수한 판단 능력과 정확한 술기라는 것을 잊지 말아야 할 것이다.

결론

기술이 발전함에 따라 로봇과 증강현실 등을 이용한 첨단 수술이 외과분야에 도입될 것으로 예상된다. 하지만 많은 외과의들은 아직 항법장치, 로봇, 증강현실 등 최신 기술에 대한 거부감을 보이고 있다. 현재 우리나라뿐 아니라 전세계적으로도 증강현실에 대한 기술은 아직 기초적인 상태이며, 이러한 상황에서 외과의들이 조금만 생각을 바꾸어도 빠른 기술발전을 이뤄낼 수 있을 것이라 생각된다. 하지만 아직 증강현실을 이용한 수술은 아직 갈길이 멀다. 영상-환자의 정합부터 시작하여 추적장치 오차, 영상왜곡, 3차원 그래픽 출력의 한계, HMD와 눈과의 추적오차 등 많은 부분에서 성능을 저하시키는 요소들이 존재한다. 각 분야에 걸쳐 이를 극복하기 위한 연구가 지속되어야 하며 이는 많은 외과의들의 관심과 노력이 필요하다 생각된다. 연구가 지속되어 많은 기술 발전이 오면 증강현실과 같은 최신 의료기술이 수술 치료의 표준으로 자리 잡힐 날도 멀지 않았다고 생각한다.

REFERENCES

1. Shuhaiber JH. Augmented reality in surgery. Arch Surg. 2004 Feb;139(2):170-4. DOI: 10.1001/archsurg.139.2.170.
2. Graham M, Zook M, Boulton A. Augmented reality in urban places: contested content and the duplicity of code. Transactions of the Institute of British Geographers. 2013 Jul;38(3):464-79. DOI: 10.1111/j.1475-5661.2012.00539.x.
3. Yoon JW, Chen RE, Kim EJ, et al. Augmented reality for the surgeon: Systematic review. Int J Med Robot. 2018 Aug;14(4):E1914. DOI: 10.1002/rcs.1914.
4. Ma L, Fan Z, Ning G, et al. 3D Visualization and Augmented Reality for Orthopedics. Adv Exp Med Biol. 2018 1093:193-205. 10.1007/978-981-13-1396-7_16.
5. Fida B, Cutolo F, di Franco G, et al. Augmented reality in open surgery. Updates Surg. 2018 Sep;70(3):389-400. DOI: 10.1007/s13304-018-0567-8.
6. Weiss CR, Marker DR, Fischer GS, et al. Augmented reality visualization using Image-Overlay for MR-guided interventions: system description, feasibility, and initial evaluation in a spine phantom. AJR Am J Roentgenol. 2011 Mar;196(3):W305-7. DOI: 10.2214/AJR.10.5038.
7. Terander AE, Burstrom G, Nachabe R, et al. Pedicle Screw Placement Using Augmented Reality Surgical Navigation with Intraoperative 3D Imaging: A First In-Human Prospective Cohort Study. Spine (Phila Pa 1976). 2019 Apr;44(7):517-25. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002876.
8. Elmi-Terander A, Nachabe R, Skulason H, et al. Feasibility and Accuracy of Thoracolumbar Minimally Invasive Pedicle Screw Placement With Augmented Reality Navigation Technology. Spine (Phila Pa 1976). 2018 Jul;43(14):1018-23. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002502.
9. Elmi-Terander A, Skulason H, Soderman M, et al. Surgical Navigation Technology Based on Augmented Reality and Integrated 3D Intraoperative Imaging: A Spine Cadaveric Feasibility and Accuracy Study. Spine (Phila Pa 1976). 2016 Nov;41(21):E1303-11. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001830.
10. Umebayashi D, Yamamoto Y, Nakajima Y, et al. Augmented Reality Visualization-guided Microscopic Spine

- Surgery: Transvertebral Anterior Cervical Foraminotomy and Posterior Foraminotomy. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018 Apr;2(4):e008. DOI: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00008.
11. Cho HS, Park YK, Gupta S, et al. Augmented reality in bone tumour resection: An experimental study. *Bone Joint Res.* 2017 Mar;6(3):137-43. DOI: 10.1302/2046-3758.63.BJR-2016-0289.R1.
 12. Hodges SD, Eck JC, Newton D. Analysis of CT-based navigation system for pedicle screw placement. *Orthopedics.* 2012 Aug;35(8):e1221-4. DOI: 10.3928/01477447-20120725-23.
 13. Papadopoulos EC, Girardi FP, Sama A, et al. Accuracy of single-time, multilevel registration in image-guided spinal surgery. *Spine J.* 2005 May-Jun;5(3):263-7; discussion 68. DOI: 10.1016/j.spinee.2004.10.048.

증강현실을 이용한 척추 수술

박상민 • 김호중 • 염진섭 • 신영길*

서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원 정형외과학교실, *서울대학교 공과대학 컴퓨터공학부

연구 계획: 증설

목적: 증강현실을 이용한 척추 수술에 대한 최신 지견의 소개

선행 연구문헌의 요약: 증강현실은 컴퓨터 그래픽 등을 이용하여 실제 주변환경과 상호작용을 하고 있는 것처럼 만들어 주는 기술로, 최근 4차 산업혁명과 함께 각광받는 분야 중 하나이다.

대상 및 방법: 관련된 문헌의 고찰 및 최신 연구의 소개

결과: 증강현실을 이용한 척추수술은 현재 연구 중이나 아직 기초적인 단계에 머물러 있으며, 산학연이 협력하여 개발한다면 추후 사용가능한 단계까지 발전가능성이 높다.

결론: 아직 기초적인 단계의 기술을 더욱 발전시켜 의사 및 환자 친화적인 기술로 발전시켜야 한다고 본다.

색인 단어: 증강현실, 척추수술, 4차산업

약칭 제목: 증강현실을 이용한 척추수술

접수일: 2018년 11월 11일

수정일: 2018년 11월 15일

게재확정일: 2018년 12월 22일

교신저자: 염진섭

경기도 성남시 구미로 173번길 82 서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원 정형외과

TEL: 031-787-7195

FAX: 031-787-4056

E-mail: highcervical@gmail.com