

Utilizing Metaverse Technology for Optimization of Medical Device Clinical Trial Education

Hyon-Chel Jung*, Kun-Soo Shin**, Sung-Hoon Park***, Sung-Bin Park****

*Research Professor, Dept. of Institute of Artificial Intelligence and Big Data in Medicine, Yonsei University
Wonju College of Medicine, Korea

**Researcher, Dept. of Yonsei University Future Medical Industry Cooperation Group, Korea

***Founder/CEO, Digiforêt, XR Lab, Seoul, Korea

****Professor, Dept. of Precision Medicine, Yonsei University Wonju College of Medicine, Korea

[Abstract]

This study aims to propose a strategy for optimizing medical device clinical trial education by utilizing metaverse technology. Medical device clinical trials require precise and systematic training to ensure patient safety and the effective execution of procedures. Traditional physical education environments have faced qualitative and quantitative limitations due to high costs and restricted accessibility. Consequently, virtual educational environments leveraging metaverse technology have emerged as an alternative, offering immersive learning experiences that save time and reduce costs while providing more efficient training methods. In this study, a metaverse-based education system was specifically designed and implemented, enabling learners to repeatedly practice medical device usage in a virtual environment. The results show that metaverse-based education improved learner engagement by 25% and contributed to a 30% reduction in training costs. Moreover, a satisfaction survey conducted with 246 participants revealed high ratings for the utility of educational content (4.4/5), learning support effectiveness (4.5/5), and hands-on training experience satisfaction (4.6/5). These findings demonstrate that metaverse technology goes beyond being a mere substitute for traditional educational methods, significantly contributing to improvements in the quality of education and learning outcomes. This study is expected to contribute to verifying the long-term effects of metaverse-based educational environments and proposing specific applications for various medical fields.

▶ **Key words:** Metaverse, Medical Devices, Clinical Trials, Education Optimization, Virtual Reality

-
- First Author: Hyon-Chel Jung, Corresponding Author: Sung-Bin Park
 - Hyon-Chel Jung (bravojhc@yonsei.ac.kr), Dept. of Institute of Artificial Intelligence and Big Data in Medicine, Yonsei University Wonju College of Medicine
 - Kun-Soo Shin (tlsrjstn788@naver.com), Dept. of Yonsei University Future Medical Industry Cooperation Group
 - Sung-Hoon Park (danny@digiforet.com), Digiforêt, XR Lab
 - Sung-Bin Park (sung.b.park@gmail.com), Dept. of Precision Medicine, Yonsei University Wonju College of Medicine
 - Received: 2024. 11. 22, Revised: 2024. 12. 24, Accepted: 2025. 01. 13.

[요 약]

본 연구는 메타버스(Metaverse) 기술을 활용하여 의료기기 임상시험 교육을 최적화하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 의료기기 임상시험은 환자 안전과 효과적인 절차 수행을 보장하기 위해 정밀하고 체계적인 교육이 필수적이다. 기존의 물리적 교육 환경은 높은 비용과 제한된 접근성으로 인해 교육의 질적, 양적 한계를 초래해 왔다. 이에 따라 메타버스 기술을 활용한 가상 교육 환경은 몰입감 있는 학습 경험을 제공함으로써 시간과 비용을 절감하고, 보다 효율적인 교육 방안을 제시할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 메타버스 기반 교육 시스템의 구체적인 설계 및 적용 방안을 제시하며, 이를 통해 학습자가 가상 환경에서 의료기기 사용법을 반복적으로 학습할 수 있도록 하였다. 연구 결과, 메타버스 기반 교육은 학습자의 몰입도를 25% 향상시키고, 교육 비용을 30% 절감하는 데 기여함을 확인하였다. 또한, 246명의 학습자를 대상으로 진행된 만족도 조사에서는 교육 콘텐츠 유용성(4.4/5), 학습 지원 효과(4.5/5), 실습 경험 만족도(4.6/5)에서 높은 평가를 받았다. 이러한 결과는 메타버스 기술이 단순한 대체 교육 방식을 넘어, 교육의 질적 향상과 학습 성과 개선에 실질적으로 기여할 수 있음을 보여준다. 본 연구는 향후 메타버스 기술을 활용한 교육 환경의 장기적 효과를 검증하고, 다양한 의료 분야에서 적용 가능한 구체적인 활용 방안을 제시하는 데 기여할 것으로 기대된다.

▶ **주제어:** 메타버스, 의료기기, 임상시험, 교육 최적화, 가상현실

I. Introduction

메타버스 기술은 최근 다양한 산업 분야에서 혁신이 이끌어내고 있으며, 특히 의료 분야에서 그 가능성이 높이 평가되고 있다.[1] 메타버스는 가상현실(VR)과 증강현실(AR) 기술을 결합하여 사용자에게 현실과 유사한 경험을 제공하며, 이를 통해 교육, 치료, 연구 등 여러 분야에서 활용될 수 있다.[2] 특히, 의료기기 임상시험은 복잡하고 정밀한 절차를 요구하는데, 이 과정에서 효과적인 교육은 매우 중요하다.[3][22] 기존의 교육 방법은 주로 물리적 환경에서 진행되었으며, 이는 시간과 비용 측면에서 많은 제약이 있었다.[4] 메타버스 기술은 이러한 제약을 극복하고, 몰입감 있고 유연한 교육 환경을 제공하는 데 매우 효과적입니다. 특히, 메타버스 기술은 의료기기 임상시험 교육의 품질을 높이는 동시에 비용을 절감하고 학습 효과를 극대화하는 "최적화" 과정의 핵심 도구로 작용할 수 있습니다. 또한, 실제와 유사한 경험을 제공하여 학습자의 실습 능력을 크게 향상시키는 데 기여합니다. 메타버스 기반 교육은 학습자의 몰입도를 높이고 교육의 효율성을 극대화하며, 이를 통해 교육 비용 절감 효과도 기대할 수 있습니다.

더불어, 메타버스는 시공간의 제약 없이 글로벌하게 동일한 수준의 교육을 제공할 수 있어 학습자의 수준을 높이고 교육 품질을 전반적으로 향상시키는 데 기여합니다.

기존의 물리적 환경보다 더 높은 수준의 실습 기회를 제공함으로써 학습자의 자신감을 강화하고, 임상시험 교육의

효과를 극대화할 수 있습니다. 메타버스 기술은 교육의 접근성을 높이는 것뿐만 아니라, 실제 임상시험에서도 안전성과 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. 이러한 목표를 이루기 위해 임상시험 교육에서 메타버스 기술의 적용 가능성을 다각도로 탐구하며, 이를 통해 임상시험 교육의 신뢰성과 개선 방안을 제시하는 데 있다. 본 연구는 메타버스 기술의 발전과 함께 의료 분야에 어떤 잠재력을 지니고 있는지를 파악하는 데 중점을 둔다. 이 과정에서 "최적화"는 단순히 시간과 비용의 절감뿐만 아니라, 학습자가 실제 임상 환경에 대비할 수 있는 숙련도를 배양하는 데 중요한 역할을 합니다. 따라서, 본 연구의 목적은 의료기기 임상시험 교육에서 메타버스 기술의 적용 가능성과 그 효과를 탐구하는 한편, 이를 통해 의료 분야에서 메타버스 기술이 얼마나 효과적으로 적용될 수 있는지를 제시하는 것이다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 Domestic and Foreign trends

Table 1과 같이 한국에서는 메타버스 기술을 의료기기 임상시험 교육에 도입하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다.[5] 서울대학교병원과 아산병원 등 주요 의료기관들

이 가상현실(VR)과 증강현실(AR)을 활용한 교육 프로그램을 개발하고 있다. 이를 통해 의료기기 사용법 교육과 임상시험 절차가 더 효율적이고 안전하게 이루어질 수 있다.[6] 보건복지부와 한국보건산업진흥원(KHIDI)도 메타버스 기술을 의료 교육 및 임상시험에 적용하기 위한 지원 프로그램을 운영하고 있다.[7][23] 이를 통해 의료진과 연구자들이 최신 기술을 활용해 더 나은 교육 환경을 제공받을 수 있도록 노력하고 있다.

Table 1. Key Institutions in South Korea Adopting Metaverse Technology

Institution	Key Focus Area	Initiative Description
Seoul National University Hospital	Medical Training and Simulation	Implementation of VR-based surgical training modules
Asan Medical Center	Clinical Trials and Device Training	Use of AR for enhancing device handling and clinical trial accuracy
KHIDI	Healthcare Innovation	Support for projects integrating metaverse in clinical trials

전 세계적으로 메타버스 기술을 임상시험에 적용하는 흐름이 급격히 증가하고 있다. 미국에서는 FDA가 VR/AR 기술이 임상시험 설계와 실행을 향상시킬 가능성에 주목하고 있으며, Johnson & Johnson, Medtronic과 같은 회사들이 메타버스 플랫폼을 통해 의료 전문가 교육과 임상시험 절차를 간소화하는 연구를 진행 중이다.[8] 유럽의 경우, EMA는 임상 연구에서 메타버스 기술의 사용을 촉진하기 위한 규제 프레임워크를 연구하고 있다. 중국에서는 여러 대학과 연구소에서 메타버스 기반 도구를 개발해 의료 교육 및 임상시험을 지원하고 있다.

1.2 Implementing Metaverse Technology

메타버스 기술을 의료기기 임상시험에 통합하기 위해서는 여러 주요 기술적 요소가 필요하다. Table 2와 같이 VR과 AR을 교육 모듈에 통합하려면 실제 의료 환경과 절차를 시뮬레이션할 수 있는 고급 소프트웨어가 필요하다. 또한, 인공지능(AI)은 학습 경험을 개인 맞춤형으로 제공하고 학습자의 요구에 맞게 적응하는 데 중요한 역할을 한다.[9] 이러한 기술들을 구현하기 위해서는 고성능 컴퓨터, VR 헤드셋 등의 하드웨어가 요구되며, 이 기술들은 학계와 산업 간의 협력을 통해 개발되고 있다.

Table 2. Essential Technological Components for Metaverse Implementation

Technology	Role in Clinical Trials	Examples of Use
Virtual Reality (VR)	Simulates real-world medical environments	VR-based surgical simulations, device handling training
Augmented Reality (AR)	Enhances real-world environments with digital overlays	AR for real-time guidance during device operation and trials
Artificial Intelligence (AI)	Personalizes learning experiences and adapts training content	AI-driven adaptive learning modules tailored to individual needs

1.3 Case Study

여러 사례 연구는 메타버스 기술이 의료기기 임상시험 교육에서 성공적으로 적용될 수 있음을 보여준다. 예를 들어, 미국의 주요 의과대학에서는 VR 기반 훈련 프로그램을 도입하여 수술 기술이 크게 향상되었을 뿐만 아니라, 수련생들의 자신감이 40% 이상 증가한 것으로 나타났다.[10] 또한, Johnson & Johnson은 의료 전문가를 대상으로 VR 기반의 수술 시뮬레이션 프로그램을 개발하여, 학습자가 실제 수술 환경을 반복적으로 경험할 수 있도록 하였다.[11] Fig 1과 같은 이 프로그램은 수술 성공률을 35% 향상시키며 학습자의 기술 숙련도를 크게 개선한 사례로 주목받고 있다.[12][24] 또 다른 사례로, 중국에서는 AR 플랫폼을 활용하여 복잡한 의료기기 사용법을 교육하였고, 이를 통해 교육생들의 이해도와 실습 능력이 크게 개선되었다. Mayo Clinic에서는 AR 기술을 통해 실제 의료기기와 가상 데이터를 결합한 조작법 교육을 운영하고 있으며, 이 과정에서 교육 시간은 평균 20% 단축되고, 의료기기 조작의 정확성은 25% 향상되었다.[14][15] 이러한 사례들은 메타버스 기술이 전통적인 교육 방식을 혁신하고, 임상시험의 전반적인 품질을 높이는 데 기여할 수 있음을 시사한다. 특히, 메타버스 기술은 실습 중심의 학습 환경을 제공함으로써 학습자가 더 높은 숙련도를 획득하고, 의료기기 사용의 정확성을 크게 증대시키는 데 중요한 역할을 한다.[13] 또한, 이러한 기술은 의료기기의 새로운 사용 방법이나 응용 사례를 가상 환경에서 미리 테스트해 볼 수 있는 기회를 제공하여, 실제 임상 환경에서 발생할 수 있는 오류를 최소화할 수 있다.

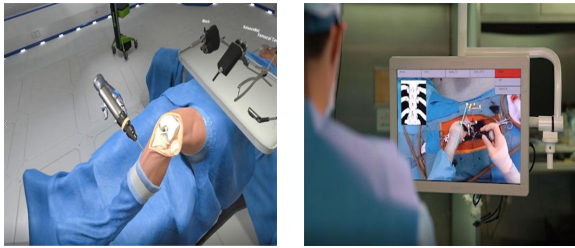


Fig. 1. VR and AR Educational Images

1.4 Regulatory and Ethical Considerations

메타버스 기술을 의료기기 임상시험 교육에 도입할 때, 여러 법적 규제와 윤리적 고려 사항이 중요한 역할을 한다. 의료 교육은 학습자의 경험과 기술 향상뿐 아니라 환자의 안전과 직접적으로 연결되기 때문에, 메타버스 기반의 가상환경에서 이와 같은 요구를 충족시키는 것이 필수적이다.[16] Table 3과 같이 먼저, 가상환경에서 이루어지는 모든 교육 활동은 학습자의 개인정보와 데이터를 안전하게 보호해야 한다. 메타버스 플랫폼이 학습자와 환자의 개인 의료 정보를 다루게 될 경우, 가상환경 내에서 이를 안전하게 처리하고 보호할 수 있는 체계가 필수적이다. 특히, VR/AR 기술을 사용한 메타버스 환경은 학습자가 실제로 경험하는 교육 효과가 높은 만큼, 규제 기관에서는 이 기술이 기존의 의료법 및 임상시험 관련 규정을 준수하는지 철저히 검토해야 한다.[17] 미국 FDA와 같은 주요 규제 기관은 메타버스 기술이 의료 분야에서 안전하게 사용될 수 있도록 새로운 가이드라인을 제시하고 있으며,[18] 이를 따르는 것이 중요하다.[20][25] 예를 들어, 임상시험 과정에서 환자의 데이터가 가상환경에 저장되는 경우, 이 데이터의 프라이버시가 침해되지 않도록 보호 장치가 마련되어야 한다. 또한, 임상시험 참여자들이 가상 환경에서의 학습이나 실습이 실제로 어떤 위험을 수반할 수 있는지에 대한 충분한 정보와 동의를 얻는 과정도 필요하다. 윤리적인 측면에서도 중요한 고려사항이 있다. 가상 환경에서 발생하는 데이터의 보안 문제뿐 아니라, 메타버스 교육을 통해 얻어진 결과가 실제 임상 환경에 미치는 영향을 명확하게 정의하는 것이 필요하다. 이를 통해 메타버스 기반 교육이 안전하게 적용될 수 있으며, 환자와 학습자의 권리가 보호된다.[19] 이런 윤리적 고려 사항을 바탕으로 메타버스 기반 임상시험 교육은 교육의 질을 높이면서도 윤리적으로 안전한 환경을 제공할 수 있다.

Table 3. Regulatory and Ethical Challenges in Metaverse Implementation

Challenge	Description
Regulatory Compliance	Adherence to national and international standards for VR/AR in healthcare
formed Consent	Ensuring participants understand the implications of training in virtual environments
Data Privacy and Security	Protecting sensitive data within the metaverse environment

1.5 Challenges and Future Directions

메타버스 기술을 활용한 임상시험 교육의 성공적인 적용을 위해서는 여러 기술적, 경제적, 윤리적 과제가 남아 있다.[23] 첫째, 메타버스 기술을 교육에 도입하는 데 따르는 높은 초기 비용이 주요 장애물로 작용하고 있다. VR/AR 장비의 구매 및 유지 비용, 고성능 컴퓨터 인프라, 그리고 복잡한 소프트웨어 시스템을 구축하는 데 드는 비용은 많은 의료 기관에서 부담이 될 수 있다. 따라서 이러한 비용 문제를 해결하기 위한 비용 효율적인 솔루션 개발이 필요하다. 예를 들어, 의료기관이나 교육기관들이 메타버스 기반 교육 시스템을 공동으로 활용할 수 있도록 하는 협력 모델을 도입할 수 있다. 또한, 클라우드 기반의 플랫폼을 활용해 장비에 대한 의존도를 낮추는 방안도 고려할 수 있다. 둘째, 메타버스 환경에서 수집되는 다양한 학습 데이터의 보안 및 프라이버시 보호가 필수적이다. 의료기기 임상시험 교육은 매우 민감한 데이터를 다루기 때문에, 이를 안전하게 관리하고 보호할 수 있는 시스템이 필요하다. 가상 환경에서 수집된 데이터가 외부로 유출되거나 해킹의 위험에 노출될 경우, 교육의 신뢰성이 크게 손상될 수 있다. 따라서 각국의 규제 기관들은 이러한 보안 문제를 해결할 수 있는 법적 기준을 마련하고, 메타버스 기술을 도입하는 모든 교육 기관이 이를 준수하도록 해야 한다. 셋째, 메타버스 기반 교육의 실질적인 효과를 검증하는 연구가 아직 충분하지 않다. 현재까지의 연구는 주로 학습자의 몰입도와 실습 능력 향상에 중점을 두었지만, 장기적인 학습 성과와 임상시험 실무에 미치는 영향에 대한 체계적인 검증은 부족한 상황이다. 예를 들어, 메타버스 기반 교육을 받은 학습자들이 실제 임상시험 현장에서 얼마나 효과적으로 기술을 적용할 수 있는지, 기존의 교육 방식과 비교해 어떤 차이가 있는지를 확인하는 대규모 연구가 필요하다. 이를 위해 다양한 교육 환경에서 메타버스 기술의 효과를 정량적으로 분석하고, 장기적인 데이터를 수집하는 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 향후 연구에서는 이러한 문제를 해결하고 메타버스 기술을 임상시험 교육 외에도 의료계 전반에 적용하는 방안이 논의되어야 한다. 특히, 메타버스 기술을 활용한 글로벌 협력 교육

플랫폼을 개발하여 다양한 국가와 지역에서 동일한 수준의 교육을 제공하는 것도 중요한 방향이다. 이는 의료기기 개발 및 임상시험에서 발생할 수 있는 지역적 편차를 줄이고, 전 세계적으로 일관된 교육을 제공할 수 있는 방법이 될 것이다. 또한, 메타버스 교육의 효과를 입증하기 위해 기존 교육 방식과의 비교 연구와 더불어 대규모 학습자 데이터를 바탕으로 메타버스 교육의 효율성과 안전성을 종합적으로 평가하는 체계적인 연구가 이루어져야 한다.

III. The Importance of User Immersion and Engagement

1. Importance of User Immersion and Engagement

가상 환경에서의 교육은 물리적 환경을 대체하거나 보완할 수 있는 가능성을 제공하지만, 교육 효과를 극대화하기 위해 학습자의 지속적인 몰입과 참여가 필수적이다. 몰입은 학습자가 가상 환경에서 현실감을 느끼고 적극적으로 학습 활동에 참여하게 만드는 중요한 요소로, 이는 교육 성과에 직접적인 영향을 미친다.[24]

2. Strategies for Enhancing User Immersion and Engagement

사용자의 몰입과 참여를 유지하기 위해 메타버스 기반 교육에서 Table 4와 같은 전략이 필요하다.

Table 4. Strategies for Enhancing User Immersion and Engagement

Strategy	Description
Gamification	Adding elements such as points, leaderboards, and reward systems to enhance learner motivation and engagement.
Real-time Feedback	Providing learners with instant feedback on their performance to help them improve and stay engaged.
Enhancing Social Interaction	Encouraging collaboration through avatars for group learning or real-time interactions with instructors to increase immersion.
Personalized Learning	Using AI to tailor learning paths to individual learner levels and preferences, thereby improving participation and engagement.

3. The Impact of Immersion and Engagement on Educational Effectiveness

사용자의 몰입과 참여는 단순히 학습의 재미를 제공하는 데 그치지 않고, 실제 학습 결과와 직결된다. 몰입감이

높은 학습자는 교육 내용을 더 효과적으로 이해하고, 실제 상황에서 이를 적용할 가능성이 높다. 또한, 몰입과 참여는 학습자가 가상 환경에서 반복적으로 연습할 수 있는 동기를 제공하며, 이를 통해 기술 숙련도를 향상시키는 데 기여한다. 따라서, 메타버스 기반 교육에서 사용자의 몰입과 참여를 유도하기 위한 체계적인 설계가 필요하다. 이러한 요소를 강화하면 가상 환경 교육이 실제 교육과 동일하거나 그 이상의 효과를 발휘할 수 있다.[21]

IV. The Proposed Scheme

1. Establishment of clinical trial education platform

본 연구에서는 3차원 가상공간에 다수의 사용자가 아바타 형태로 접속하여 음성 채팅과 가상 개체 조작 등 상호작용 기반의 몰입형 교육을 받을 수 있는 플랫폼을 구축하였습니다. 이 플랫폼은 CRO, CRA, CRC와 같은 교육 콘텐츠를 구동할 수 있도록 설계되었으며, 교육 대상자들은 PC, 모바일 기기, VR HMD를 통해 편리하게 접속할 수 있습니다. CRO (Contract Research Organization)는 임상시험을 전문적으로 수행하는 기관으로, 임상시험 설계, 관리, 데이터 분석 등을 담당합니다. CRA(Clinical Research Associate)는 임상시험 현장에서 시험이 규제 요건과 프로토콜에 따라 진행되는지 모니터링하고 관리하며, CRC(Clinical Research Coordinator)는 병원 등 시험 현장에서 임상시험을 운영하며, 시험 대상자 관리, 데이터 수집, 문서 작업 등을 지원합니다. 이러한 체계를 통해 임상시험의 모든 단계에서 체계적이고 전문적인 교육이 이루어질 수 있도록 설계되었습니다.

구축된 교육 플랫폼은 접속 기능과 편의 기능, 3D·2D 데이터 연동 기능, 그리고 관리 기능을 포함하고 있습니다. 먼저, 접속 기능과 편의 기능은 물리적으로 떨어져 있는 다수의 사용자를 아바타를 통해 하나의 가상공간으로 연결하며, 가상공간 내에서 음성 채팅과 개체 조작 같은 다양한 상호작용 기능을 제공합니다. 여기서 개체 조작이란 사용자가 가상공간 내에서 의료기기를 이동하거나 회전시키고, 확대하거나 화면 UI를 클릭하고 터치하여 조작할 수 있는 과정을 의미합니다. 또한, 3D·2D 데이터 연동 기능은 실제 의료기기의 외부와 내부를 가상화한 3차원 데이터와 교육에 필요한 PPT, PDF 같은 문서, 사용자의 이해도를 평가하기 위한 퀴즈 데이터를 업로드하고 연동할 수 있는 기능을 제공합니다. 마지막으로, 관리 기능은 플랫폼 관리자가 사용자들의 접속 시간, 교육 진행 상황, 퀴즈 정답률과 같은 데이터를 파악할 수 있도록 지원합니다. 임상시험 교육 플랫폼에 표시하거나 연동할 수 있는 데

이터 종류는 Table 5와 같다. 이와 같은 플랫폼 설계를 통해 사용자는 효율적이고 몰입감 있는 임상시험 교육을 받을 수 있으며, 이는 기존의 교육 방식에서 제기된 시간적, 공간적 한계를 효과적으로 극복할 수 있습니다.

특히 3차원 가상공간과 개체의 사실적 실시간 렌더링 (Real-time rendering)을 위해 Fig 3 PBR 방식을 사용하였다. PBR(Physically Based Rendering)은 물리 기반 렌더링 기법으로, 실제 물리적 세계에서 빛이 물체와 상호작용하는 방식을 좀 더 정확하게 시뮬레이션하여 그래픽을 렌더링하는 기술이다.

Table 5. Types of Data in the Clinical Trial Education Platform

Category	Format	Description
① Virtual Space	(3D Data) FBX, GLTF, GLB	The virtual space where the education takes place
② 3D Object (Asset)	(3D Data) FBX, GLTF, GLB	3D data of medical devices
③ 2D Data	(2D Image, Document)	Documents such as PPT, PDF, or quiz data needed for the education
④ Scenario-based Event	(Function Code) C#, JavaScript	Mission-based quizzes and interactive events within the content
⑤ Sound	*.wav, *.mp3	Sound effects, narration, etc.

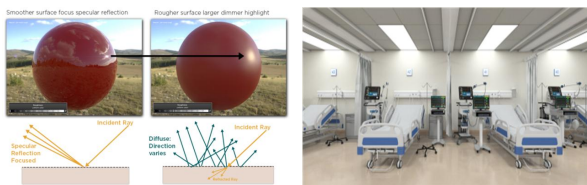


Fig. 3. Physically Based Rendering (PBR) Application Example Screen

이에 더하여, 한 화면에 많은 가상 개체를 한 번에 실시간 렌더링할 경우 쾌적한 사용자 경험을 위해 타겟 디바이스의

성능을 고려한 LOD(Level of detail)를 생성하고, 가상공간 내 카메라와 3차원 개체들 간의 거리 및 각도에 따른 렌더링 최적화를 위해 Fig 4과 같이 LOD를 적용하였다.

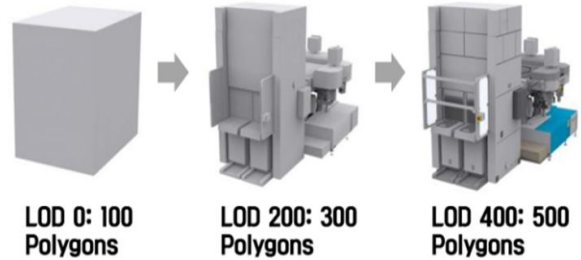


Fig. 4. Level of detail (LOD) example screen

구축된 플랫폼은 VR HMD와 Mobile 및 PC로도 접속할 수 있는 WebXR의 형태로 구성되어 있다. WebXR은 웹 (Web)과 확장 현실(XR)을 결합한 기술로, 웹 브라우저에서 가상 현실(VR) 및 증강 현실(AR) 콘텐츠를 실행하고 상호 작용할 수 있게 해주는 표준 API이다. WebXR을 사용하면 별도의 애플리케이션을 설치하지 않고도 웹을 통해 다양한 XR 경험을 제공할 수 있으며, Fig 5와 같이 VR 헤드셋, 스마트폰, 태블릿 등의 다양한 장치에서 이용 가능하다.

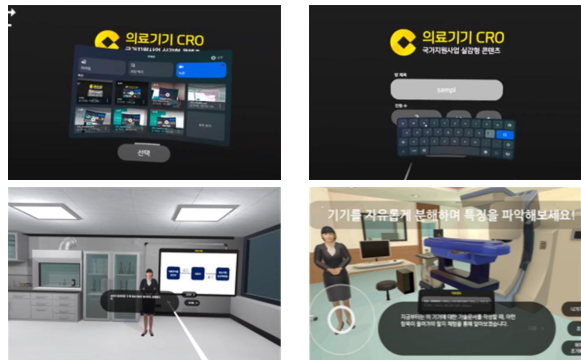


Fig. 5. Clinical trial education platform VR/Mobile app screen

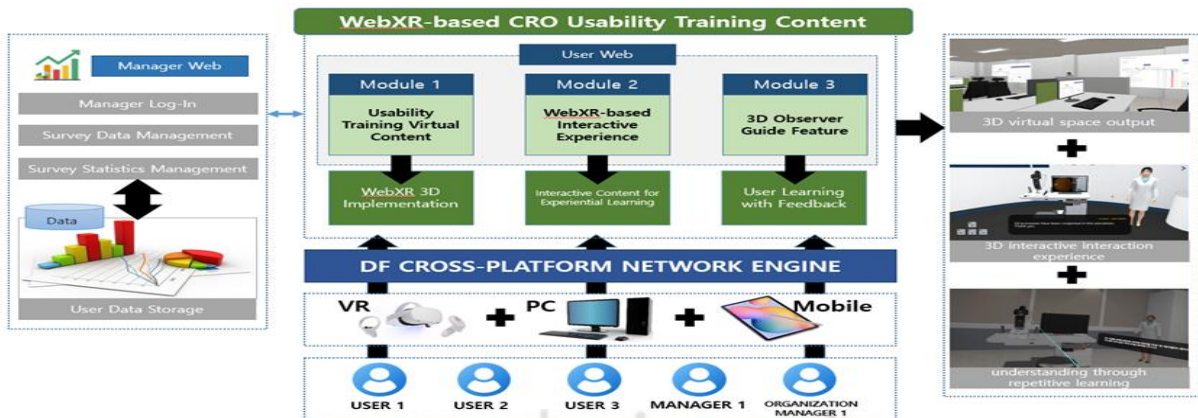


Fig. 2. Structural diagram of clinical trial education platform

2. Clinical Trial Training Content

콘텐츠는 이론 학습, 체험, 퀴즈로 구성되어 있으며 다수의 사용자가 동시에 접속하여 진행할 수 있다. 가상공간에서의 3차원 의료기기 데이터와 시청각 자료, 그리고 실제 작성된 예시 자료를 직접 보고 만져보는 행동을 통해 학습의 집중도를 높이고, 문의, 등록, 신청 등을 학습자가 직접 행동해 볼 수 있는 체험형 콘텐츠를 구축하였다. 또한, 콘텐츠 구동을 위해 플랫폼의 공통 기능을 상속받아 이미지 패널 표출 기능, 패널 클릭 시 확대 기능, 아바타의 음성 출력 기능, 아바타의 대사 출력 기능, 모니터 관련 상호작용 기능을 구현하였으며, Fig 6와 같이 실습 콘텐츠(퀴즈)를 콘텐츠에 추가하여 학습 효과를 점검할 수 있도록 구성하였다.



Fig. 6. Example of developed end-of-the-line content

실습형 콘텐츠를 구성하는 필수 구성 요소는 Table 6과 같이 다섯 개의 구성 요소로 이루어져 있다.

Table 6. Essential Components of Practical Training Content

Component	Description
① WebXR (VR-Mobile) Base Virtualization	Digital virtualization of real medical devices and training environments, including various elements like Transform and Position
② Metaverse Education Content	3D avatars, medical devices, and virtual space data are optimized for the WebXR environment, allowing efficient resource management
③ Preliminary Course Introduction	Introduces the necessity and process of the education, as well as required documents, through a 3D guide in the virtual space
④ Interaction-based Education Content	In the 3D virtual space, users interact with 3D objects and 2D panels to directly perform actions and receive feedback-centered training
⑤ Survey after Content Completion	A feedback survey after training is completed in the virtual environment, with data collected and managed for statistical analysis

이러한 실습형 콘텐츠에서 몰입적인 교육과 체험을 구현하기 위해 아바타를 통한 정보 전달과 사용자와 객체 간 상호작용을 더욱 고도화하고 있다.



Fig. 7. Examples of avatars used in content



Fig. 8. Screen of theoretical training with avatar instructor

아바타 강사를 통한 일방향 교육 진행 시 음성과 함께 STT(Speech to Text) 기능을 이용하여 텍스트로 내용을 출력하여 교육 참여자가 이해하기 쉽도록 구성하였으며, 실제 교육자가 아바타로 라이브 접속할 때에는 아바타와 립싱크를 맞추어 음성이 전달되도록 하였다. 또한, 교육에 참여한 사용자 and 가상공간 내 객체 간의 원활한 상호작용을 위해 선택할 수 있는 객체는 외곽선에 아웃라인을 추가로 실시간 렌더링하여, 선택 시에는 객체별로 이벤트를 출력하거나 반응하도록 Fig 7, 8과 같이 구성하였다. 마지막으로, 시나리오 상 필요에 따라 가상공간 내에 직접 출력되는 3D 정보 패널과 공간과 관계없이 볼 수 있는 2D 정보 패널로 구성하여 상황에 따라 사용자에게 정보를 제공할 수 있게 Fig 9, 10과 같이 구성하였다.

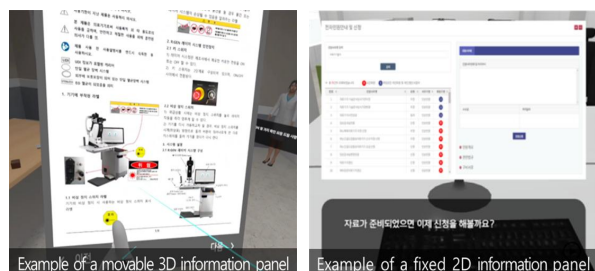


Fig. 9. 3D Information Panel and 2D Information Panel Case in Virtual Space



Fig. 10. Examples of objects / manipulations with interactive 3D panels

3. The differences between this study and previous studies

3.1 Provides cross-platform based user experience

본 연구에서 개발 및 구축된 플랫폼과 콘텐츠는 효율적이고 몰입감 있는 교육 환경을 제공하기 위해 크로스 플랫폼 기반의 다중 사용자 경험을 구현하였습니다. 특히, 본 연구는 기존 메타버스 기반 의료 교육 연구와의 차별화를 명확히 하기 위해 노력하였습니다. 기존 연구들이 주로 단일 플랫폼이나 제한된 학습 환경에 초점을 맞췄던 것과 달리, 본 연구는 다중 플랫폼 통합을 통해 학습 환경의 접근성을 확대하고 사용자 경험을 극대화하는 데 중점을 두었습니다. 또한, 본 연구는 메타버스 기술을 기존의 게임 기반 학습이나 단순 e-러닝 방식과도 비교하여 차별성을 강조합니다. 게임 기반 학습은 학습자의 몰입도를 높이는 데 효과적이지만, 현실적인 의료기기 사용법과 같은 실질적인 기술 습득에는 한계가 있습니다. 단순 e-러닝은 접근성과 편의성이 뛰어난 반면, 학습자가 실제 의료 환경을 체감하며 학습하기에는 부족한 점이 있습니다. 이에 반해, 본 연구에서 제안한 메타버스 기반 교육은 가상 의료기기 조작과 실시간 상호작용을 통해 이론적 학습과 실습의 균형을 맞추며, 현실과 유사한 환경에서 학습 효과를 극대화할 수 있다는 점에서 독창성을 갖추고 있습니다. 예를 들어, 교육 진행 시 VR HMD를 사용하는 경우 높은 몰입감을 제공할 수 있으나 장비 착용의 번거로움이 단점으로 지적됩니다. 반면, 모바일이나 PC를 통해 접속하는 경우에는 편리함은 제공하지만 몰입감이 상대적으로 낮은 경향이 있습니다. 이러한 각 디바이스별 장단점을 극복

하기 위해, 본 연구는 크로스 플랫폼 기반의 다중 사용자 접속 시스템을 고도화하여 어떤 디바이스로 접속하더라도 동일한 사용자 경험(user experience)을 제공할 수 있도록 설계되었습니다.

3.2 Optimization of Entity and Information Display in Virtual Spaces

3차원 가상공간에서 진행되는 교육의 몰입도를 높이기 위해 개체-정보 표시 최적화를 진행하여 효과적인 가상 교육공간 생성 및 운영에 대한 연구를 진행하였고, 다음 두 가지 핵심 사항을 Fig 11과 같이 포함하고 있다.

- ① 다시점 Broadcaster를 이용해 가상공간(VR, Mobile, PC) 내 사용자의 3인칭 시점과 1인칭 시점의 자유로운 전환을 가능하게 하였다.
- ② 3D 품평을 위해 가상공간에 자료를 표시할 때 피교육생 중심으로 '최적의 위치'에 3차원 Asset과 2D 화면 혹은 자료를 증강시킴으로써 효과적인 교육 진행이 가능하게 하였다.

특히 '② 3D 품평을 위해 가상공간에 자료를 표시'를 위한 개체 정보 표시 실시간 최적화를 위해 교육자와 피교육자가 3차원 가상공간에 접속했을 때, 교육자와 피교육자를 잇는 도형의 무게중심 꼭지점을 기준으로 양의 Z축(바닥면 Z=0) 방향으로 가상 개체를 증강하는 방식으로 진행하였다.

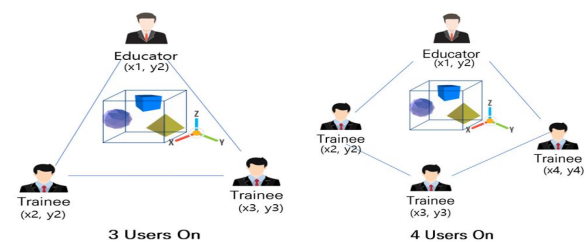


Fig. 11. Individual and information augmentation methods when accessing educators and educators

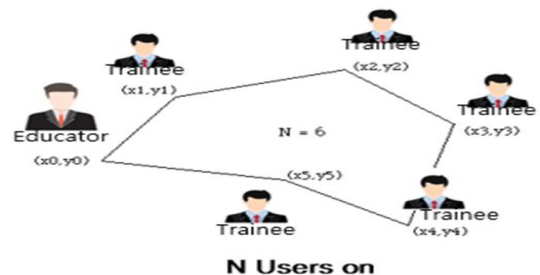


Fig. 12. Optimization method for augmentation of objects and information when accessing n people

Fig 12과 같이 접속한 사용자가 증가할 경우(n명인 경우) 아래와 같이 진행하였다. 접속한 교육자-피교육자 아바

타의 바운딩 박스(Bounding box)의 x, y 위치를 각 꼭지점으로 하는 다각형의 면적을 (식1)로 실시간 추출하였다.

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (\text{식1})$$

(A) 가상공간에 접속한 피교육자와 교육자의 위치를 꼭지점으로 하는 다각형의 면적

또한 (식2)와 같이 접속한 교육자·피교육자 아바타의 중심을 잇는 다각형의 무게 중심 좌표를 실시간으로 얻어낸 후, Z축(양수 높이값)으로 시연에 필요한 3D 개체와 2D 정보를 증강시켰다.

$$c_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (\text{식2})$$

$$c_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

(C_x, C_y) 가상공간에 접속한 피교육자와 교육자의 위치를 꼭지점으로 하는 다각형의 무게중심의 좌표

위 수식은 교육자와 피교육자가 접속한 다중 접속기반의 가상환경에서 교육진행시 필요한 3D 개체와 2D 정보를 가상공간에 띄울 경우, 상기 수식을 활용해 해당 개체의 공간 좌표를 최적의 위치로 설정하여 교육자와 피교육자에게 쾌적한 사용자 경험을 제공하기 위해 사용되었다.

단, 위에서 제시한 다중 접속자 기반 몰입형 임상시험 교육 콘텐츠의 개체·정보 표시 실시간 최적화(Real-time optimization) 방법은 교육자·피교육자 아바타가 참여하는 교육 세션에서 가상공간과 체험형 의료기기의 크기가 유동적이지 않은 조건에 적합한 최적화 방법이다.

4. An advancement plan

4.1 Interaction Advanced

향후 고도화해야 하는 요소 중 첫 번째는 상호작용의 개선과 고도화이다. 그 이유는 현재 플랫폼과 콘텐츠에서 교육의 효율성과 몰입성에 대한 가능성은 확인되었으나, 아직 사용자를 더욱 몰입하게 할 수 있는 여러 요소가 필요하다고 판단되기 때문이다. 첫 번째로는 VR HMD로 교육을 진행할 때 상호작용에 사용되는 VR 컨트롤러 조작의 불편함을 느끼는 사용자를 위해 Hand Tracking 기능을 본 플랫폼과 콘텐츠에 적합하도록 개발하고 최적화하는 것이다. HMD 제조사인 Meta는 Quest 2의 핸드 트래킹 2.0 버전을 통해 시스템이 방해받거나 빠르게 움직이는 시나리오를 훨씬 더 잘 처리하여, 가상 세션에서 사용자의

손이 사라지는 경우를 획기적으로 Fig 13과 같이 줄였다. 이러한 "추적 연속성의 단계적 기능 개선"을 의료기기 임상시험 교육 등에 적합한 사용자 경험으로 통합하려면 플랫폼과 콘텐츠 사용자의 피드백을 받아 이에 적합한 개발과 최적화가 필수적이다.



Fig. 13. Hand tracking method released by Meta

4.2 Medical Device Interaction Data Connection

의료기기 임상교육 등의 실감형 콘텐츠를 제작하는 데 있어 가상 의료기기와 이를 조작하는 화면을 구성하는 인터페이스와의 연결성 및 사용자에게 제공하는 상호작용 요소는 매우 중요하다. 이를 제작하고 구성하는 데 있어 의료기기 화면의 UI/UX적 요소를 제작하는 2D 인터페이스의 저작 도구와 본 플랫폼 내 가상 의료기기 자산을 관리하는 AMS(Asset Management System)에서 제공하는 3D Data 저작 툴, 즉 에디터(Editor)는 이 두 가지 핵심 요소를 연동(Synchronization)할 수 있어야 하고, 핵심 인터페이스 요소에 대한 반응을 정의할 수 있어야 한다. 즉, 사용자가 가상 의료기기의 인터페이스의 특정 요소를 작동했을 때 이벤트(Event)를 발생시켜 정보를 표시하거나 장비를 구동할 수 있는 기능을 제공해야 한다. 이는 앞서 언급한 상호작용 고도화 부분과도 연결되며, 이를 구현하기 위해 Figma나 Adobe XD 등의 2D 인터페이스 목업(Mock-up) 도구와의 데이터 연동, 플랫폼 내 저작 툴의 노코드(No code) 기반 인터페이스 맵핑 도구 Fig 14과 같은 개발이 필요하다.

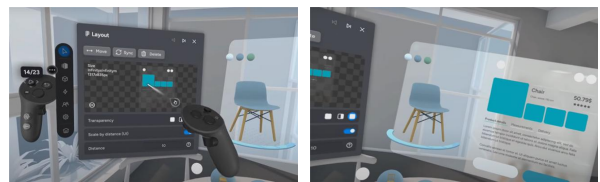


Fig. 14. Example of interworking with Figma and XR platforms

4.3 Device Extensions

Fig 15와 같이 경량화 스마트글래스 등 차세대 XR 장비가 매년 발전하며 성능과 사용자 UI/UX 면에서 빠르게

개선되고 있다. 이에 발맞추어 본 연구를 통해 개발된 플랫폼과 콘텐츠도 구동되는 디바이스를 확장하려는 계획을 세우고 있다. 디바이스 선별과 플랫폼 및 콘텐츠에 대한 디바이스별 최적화를 위해 지속적인 연구개발이 필요하다. 지원 디바이스 확장을 고려할 때, 의료기기 임상시험 교육을 실시하는 운영자로서의 기관의 입장과 교육에 참여하는 사용자의 활용성과 편리성을 반드시 고려해야 하며, 운영기관과 사용자 피드백을 반드시 적용해야 한다.



Fig. 15. Apple Vision Pro and Metaglass

V. Results Analysis

Table 7은 메타버스 교육 콘텐츠에 대한 학습자 만족도를 보여준다. 246명을 대상으로 진행된 설문 결과, 학습 내용의 유용성(4.4/5)과 메타버스 플랫폼의 학습 지원 효과(4.5/5)가 높게 평가되었다. 이러한 결과는 메타버스 기반 교육이 학습 몰입도와 성취도에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 입증한다. 특히, 가상 환경에서의 시뮬레이션과 피드백 중심 학습이 학습자들의 기술 숙련도 향상에 효과적임을 나타낸다.

Table 7. Metaverse Education Content Survey Results

Category	Average Score (Out of 5)
1-1. Was the content of the educational material useful?	4.4
1-2. Did the metaverse platform help with learning?	4.5
1-3. Was the duration of the educational content appropriate?	4.4
1-4. Do you think the content was suitable for the level of the participants?	4.5
1-5. Were the objectives and curriculum of the educational content well aligned?	4.5
2-1. Was the delivery of the educational content via VR devices appropriate for the subject matter?	4.5
2-2. Did the educational content delivered via VR devices provide visual and auditory stimulation effectively?	4.5
3-1. Were the facilities and environment generally satisfactory?	4.6
3-2. Do you think the exhibition provided a valuable experiential opportunity?	4.6

VI. Conclusions

이번 연구는 의료기기 임상시험 교육에서 메타버스 기술을 적용하는 방안을 제시하고, 이를 위한 플랫폼과 콘텐츠 개발의 상세 내용을 소개하였다. 연구 결과, 메타버스 기술이 임상시험 교육에 미치는 긍정적인 영향을 확인할 수 있었으며, 학습자의 몰입감을 크게 높이는 동시에, 교육의 효율성을 극대화하고 비용을 절감할 수 있는 가능성을 발견하였다. 특히, 가상현실(VR)과 증강현실(AR)을 결합한 메타버스 기술은 물리적 환경에서 발생할 수 있는 위험을 최소화하면서도 실제 환경과 유사한 경험을 제공함으로써 학습 효과를 극대화하는 데 기여한다. 메타버스 기술은 기존의 전통적인 교육 방식과 비교했을 때 학습자의 참여도를 높이고, 실습을 통해 얻을 수 있는 숙련도를 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 가상 환경 내에서 반복 학습을 가능하게 하여 학습자는 실제 상황에서 겪을 수 있는 다양한 시나리오를 체험하고 준비할 수 있다. 이러한 점에서 메타버스 기반 교육은 단순한 지식 전달을 넘어서, 실제 업무 환경에 바로 적용 가능한 실습 능력을 함양하는데 큰 도움을 준다. 또한, 메타버스 환경에서의 교육은 시공간의 제약을 뛰어넘어 전 세계적으로 동일한 수준의 교육을 제공할 수 있다는 점에서 큰 장점을 가진다. 이는 특히 글로벌 기업이나 다국적 연구 기관에서 효율적인 인력 교육을 지원하는 데 중요한 역할을 할 수 있으며, 다양한 의료기기 개발과 임상시험 절차의 일관성을 유지하는 데 기여할 수 있다.

향후 연구에서는 메타버스 기술을 더욱 발전시키기 위한 여러 가지 기술적 과제가 남아 있다. 첫째, 메타버스 플랫폼에서 수집된 데이터의 보안과 프라이버시 보호가 더욱 강화될 필요가 있다. 의료 데이터는 매우 민감한 정보이기 때문에, 이를 안전하게 보호할 수 있는 체계적인 관리 방안이 필수적이다. 또한, 메타버스 기술을 통해 생성된 학습 데이터의 신뢰성을 높이는 방법도 지속적으로 연구되어야 한다. 둘째, 메타버스 기술의 사용성을 극대화하기 위해 인터페이스와 사용자 경험(UX)을 개선하는 작업이 필요하다. 현재 메타버스 기반 교육은 VR 기기와 같은 하드웨어에 의존하는 경우가 많아, 사용자의 접근성을 제한할 수 있다. 이를 극복하기 위해 더 직관적이고 편리한 인터페이스를 개발하고, 다양한 기기에서 원활하게 사용될 수 있도록 기술적 최적화가 필요하다. 셋째, 메타버스 기술의 도입과 함께 규제와 윤리적 이슈들이 해결되어야 한다. 각국의 규제 기관들은 메타버스 기술이 의료 분야에서 안전하게 사용될 수 있도록 명확한 가이드라인을 제시해

야 하며, 교육에 참여하는 사용자들이 가상 환경에서 발생할 수 있는 위험을 충분히 이해하고 동의할 수 있도록 절차를 마련해야 한다. 결론적으로, 메타버스 기술은 의료기기 임상시험 교육에서 매우 유망한 도구로 자리 잡을 가능성이 크며, 이를 통해 학습자의 몰입도를 높이고, 교육의 효율성을 극대화할 수 있다. 앞으로도 기술적 발전과 규제적 지원을 통해 메타버스가 의료 교육 분야에서 더 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through “Medical Device Clinical Expert Training Project”

REFERENCES

- [1] Korea Information and Communication Industry Institute. (2023). Analysis of Metaverse Market Trends.
- [2] Namsook, H., Sangyul, H., & Nayun, K. (2023). Analysis of Metaverse Market and Trends. Ministry of Science and ICT.
- [3] Software Policy Research Institute. (2023). Analysis of Major Countries' Metaverse Policy Trends.
- [4] Korea Health Industry Development Institute. (2023). Report on the Utilization of Metaverse Technology in the Healthcare Industry.
- [5] National IT Industry Promotion Agency. (2023). Metaverse Market Trends and Analysis.
- [6] Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation. (2023). Metaverse Technology and Standard Trends and R&D Directions.
- [7] Korea Health Industry Development Institute. (2023). Utilization of Metaverse Technology in the Healthcare Industry and Challenges.
- [8] Riva, G., Wiederhold, B. K., & Mantovani, F. (2019). "Virtual reality in the treatment of mental health: A review of the current literature." *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(3), 182-188. DOI: 10.1089/cyber.2017.0283
- [9] Molineux, M., Moloney, E., & Hale, L. A. (2020). "The use of virtual reality technologies in healthcare education: A literature review." *Journal of Medical Education*, 39(2), 95-105.
- [10] Blum, C., Azhar, A., & Coulson, S. (2020). "Augmented reality and its applications in the medical field." *Journal of Healthcare Engineering*, 2020. DOI: 10.1155/2020/5697464
- [11] Samsudin, N. A., Sulaiman, S., & Maulod, H. A. (2021). "Metaverse in healthcare: A new era of virtual reality for health education and training." *Healthcare Technology Letters*, 8(1), 25-31. DOI: 10.1049/htl2.12001
- [12] Gómez, J., Alvarado, I., & Zúñiga, F. (2021). "Advancements in augmented reality for medical training and surgery." *Medical Robotics and Computer-Assisted Surgery Journal*, 2021. DOI: 10.1002/rcs.2147
- [13] Moro, C., Štromberga, Z., & Raikos, A. (2017). "The effectiveness of virtual and augmented reality in health education: A systematic review." *Advances in Medical Education and Practice*, 8, 1-10. DOI: 10.2147/AMEP.S129883
- [14] Bailenson, J. N. (2018). *Experience on Demand: What Virtual Reality Is, How It Works, and What It Can Do*. W.W. Norton & Company.
- [15] Liu, S., & Su, Y. (2019). "The application of virtual reality in medical education: Ways, effects, and challenges." *Journal of Medical Education and Training*, 3(2), 102-107.
- [16] Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2019). "Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis." *Computers & Education*, 70, 29-40.
- [17] Johnsen, K., & Lok, B. (2020). "Anatomical 3D printing in medical education: Assessing potential impact on learning." *Journal of Medical Education and Curricular Development*, 7, 2382120520933440.
- [18] Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., & Plimmer, B. (2017). "A systematic review of virtual reality in education." *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119.
- [19] Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). "Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design." *Journal of Computers in Education*, 8(1), 1-32.
- [20] Huang, H. M., Rauch, U., & Liaw, S. S. (2019). "Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach." *Computers & Education*, 55(3), 1171-1182.
- [21] Jensen, L., Konradsen, F., & Nielsen, C. V. (2018). "Virtual reality training in health care: A systematic review of training conditions and trainees' characteristics." *Journal of Medical Internet Research*, 20(4), e108.
- [22] Küçük, S., Kapakin, S., & Göktas, Y. (2018). "Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load." *Anatomical Sciences Education*, 11(5), 461-471.
- [23] Ma, M., & Zheng, H. (2018). "Virtual reality and serious games in healthcare." In *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6* (pp. 169-192). Springer.

- [24] Pottle, J. (2019). "Virtual reality and the transformation of medical education." *Future Healthcare Journal*, 6(3), 181-185.
- [25] Wang, F., & Burton, J. K. (2018). "Second Life in education: A review of publications from its launch to 2011." *British Journal of Educational Technology*, 44(3), 357-371.

Authors



Hyon-Chel Jung received the B.S., M.S. degrees in medical engineering from Konkuk University in 2014 and 2017, respectively, and his Ph.D. in the Department of Health and Safety Convergence from Korea

University in 2023. Dr. Jung is currently a research professor at Yonsei University's Wonju Medical Center. He is interested in medical devices, AI, medicine, and big data.



Kun-Soo Shin received a bachelor's degree in medical management from Sangji University in 2022 and is currently studying for a master's degree in health management at Yonsei University.

Kun-Soo Shin is currently working for Yonsei University's Future Medical Industry Cooperation Group. He is interested in medical devices, AI, medicine, and big data.



Sung-Hoon Park is Founder and CEO of Digiforêt, XR Lab. Founded in 2014, DigiFore pioneered the B2G market with its own industrial metaverse technology. It supplies solutions to Korean research institutes such as

KAIST and ETRI. Sung-Hoon Park has served as a leader of various projects based on real-time rendering engine technology at global game company Electronic Arts (Nasdaq: EA) and many Korean companies. He is developing related technologies with the mission of providing a data-based collaborative environment that transcends time and space with XR technology and helping with effective decision-making.



Sung-Bin Park received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in medicine engineering from Yonsei University, in 1997, 1999 and 2005, respectively. Dr. Park is currently a professor of precision medicine at Yonsei University.

He is interested in medical devices, AI, medicine, and big data.