증강현실 기술을 사용한 수의학 교육용 정맥 주사 훈련 시뮬레이터

An Intravenous Injection Simulator using Augmented Reality for Veterinary Education

이준, Jun Lee*, 서안나, Anna Seo**, 김원종, WonJong Kim**, 김지인, Jee-In Kim***, 이승연, SeungYeon, Lee****, 엄기동 KiDong, Eom****

요약 수의대 학생들은 동물을 대상으로 의료 행위를 실습하고 훈련을 하는 과정을 통하여 동물에 대한 치료 방법을 배우고 경험한다. 하지만, 동물 보호법으로 인해 훈련에 필요한 동물 실험에 대한 규제가 확대되고, 실험에 사용되는 동물에 대한 실험 횟수를 제한하면서, 수의대 학생들의 동물 대상 교육 및 훈련의 기회가 줄어들게 되었다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 증강현실 기반의 동물 훈련 시뮬레이터를 제안한다. 동물 의료 훈련 과정 중에서 가장 사용 빈도가 높으면서도 초보자들이 어려움을 겪는 정맥 주사 훈련을 시뮬레이션 대상으로 선정하였다. 본 논문에서 제안한 시뮬레이터는 동물에 대한 의료 훈련의 사실감을 높여주기 위해서 실제 개다리의 모습을 사용한 훈련 도구를 개발하였다. 또한, 실제 정맥주사 훈련 과정에서 사용되는 주사기를 개조하여 사용자의 실험 행위 인식 및 이에 따른 Force Feedback을 제공하는 장치를 개발하였다. 마지막으로 실험에 참여하는 사용자들의 행위를 인식하고 이에 알맞은 시각적 피드백을 주기위해 Work Bench 기반의 증강 현실 시스템을 개발하였다. 제안한 증강현실 기반의 동물 훈련 시뮬레이터에 대한 성능 평가를 실시한 결과 제안한 시뮬레이터는 시뮬레이터를 사용하지 않는 전통적인 비디오 기반의 교육 방법이나 HMD (Head Mounted Display) 디스플레이를 착용한 증강현실 시스템보다 교육 효과가 뛰어나다는 결론을 얻을 수 있었다.

Abstract A veterinary student learns and experiences veterinary processes through experiments and practices using real animals. However, animal protection laws regulate animal experiments and restrict number of the experiments on laboratory animals, veterinary students would have less chances of the experiments and the practices for their veterinary training with real animals. This paper proposes a simulator for veterinary education based on augmented reality (AR). We selected an intravenous injection procedure for the simulation because the injection procedure is the most frequently used procedure during veterinary training and the most difficult stage for beginning veterinary students. The proposed AR simulator provides with a tangible prop, of which shape looks like a leg of a real dog. It also has a injection simulator, which receives user's input and sends force feedbacks to indicate results of the injection simulation. We developed a WorkBench type AR system with an LED display and cameras for visual information processing. Finally, we evaluated its performance through experiments and user studies to check its acceptance level and usability of the proposed system. We compared the proposed system with a traditional video based education and an AR based system using a head mounded display (HMD). The results showed that the proposed system showed better performances over these systems.

해심어: Augmented Reality, Intravenous Injection, Force Feedback

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2009-0087504).”
*주저자 : 건국대학교 Ubita연구소 박사후 연구원
**공동저자 : 건국대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정
***공동저자 : 건국대학교 신기술융합과 석사과정
****교신저자 : 건국대학교 신기술융합과 교수, jnkm@konkuk.ac.kr
*****공동저자 : 건국대학교 수의학과 박사과정
******공동저자 : 건국대학교 수의학과 교수
■ 접수일 : 2012년 6월 28일 / 심사일 : 2012년 7월 20일 / 게재확정일 : 2012년 9월 17일

1. 서론

동물 의료훈련은 예비 수의사들을 대상으로 동물들의 진료 행위를 실습하고 훈련하는 분야로써 예비 수의사들에게 이론으로만 배웠던 동물들의 직접적인 치료 방법을 실습하고 노하우를 배울 수 있다는 점에서 매우 중요한 분야로 수의과대학에서 진행하는 동물 의료훈련은 훈련대상이 살아있는 소동물이나 사체를 대상으로 진행한다[1]. 하지만 살아있는 소동물에 대한 실험의 경우에는 한 동물에 대해서 가능한 실험 횟수가 제한되는 단점이 존재하고 죽은 동물의 사체의 경우 실험 훈련의 성공 및 실패에 대한 직접적인 피드백을 얻기 힘들다는 단점이 있다. 또한, 1985년 최초로 개정된 이후 최근 우리나라에서도 제기되고 있는 실험용 동물의 윤리문제 및 동물보호법의 개정 움직임에 따라 동물에 대한 의료 행위 및 훈련을 위해서는 허가를 받아야 하는 문제를 가지고 있다[2]. 특히 동물 의료에서 큰 비중을 차지하는 개 와 고양이와 같은 소동물들에 대한 의료 행위는 그 중요성에도 불구하고, 위의 제약사항들에 의해 수의학을 전공하는 학생들의 연습양이 절대적으로 부족한 상황이다.

특히, 소동물들에 대한 정맥 주사 행위는 소동물의 다리에 숨어있는 정맥의 3차원 위치를 찾아내고, 혈관 사이에 올바른 자세와 각도로 주사바늘이 정맥 혈관에 제대로 의약품이 투입될 수 있도록 하는 실험 과정으로, 동물 의료 행위에서 요구되는 기본적이면서도 필수적인 의료 과정이며, 학생들의 경우에는 반복적인 학습을 통해 배울 수 있다[3]. 이러한 소동물에 대한 정맥주사 훈련에 대한 경험을 제공해주기 위해서, 소동물의 다리와 유사한 모양의 소품을 사용한 연습 기회를 제공해주는 방법 및 상품들이 제공하고 있다[4, 5]. 하지만, 소품만을 가지고 연습하는 경우에는 정맥주사기가 실제 눈에 보이지 않는 정맥을 뚫었을 때의 촉각적인 피드백 및 실험에 대한성공 여부를 알기 어렵다는 단점이 있다.

따라서 소동물에 대한 정맥주사 실험을 반복적이면서도 해당 실험의 성공여부에 따른 적절한 피드백을 제공해주기 위해서는 컴퓨터 기반의 시뮬레이터의 제공이 필요하다. 하지만, 우리들이 조사한 바에 따르면 사람에 대한 의료 훈련을 돕기 위한 시뮬레이터들은 많이 연구되고 발표 되었지만 동물의 의료훈련을 지원하는 시뮬레이터들에 대한 연구는 아직까지 발표되지 않았다. 또한 기존에 인간에 대한 의료행위를 실험하고 훈련을 위해 제안된 시뮬레이터들은 가상현실 환경을 사용하였다[6, 7]. 하지만, 소동물에 대한 정맥 주사 훈련의 경우 실제 실험 과정에서 소동물의 다리에 대한 시각적 및 촉각적인 정보에 따라 정맥 혈관을 찾아내는 실험이므로 사용자가 시각적으로 관찰하는 공간에서 직접적인 피드백을 제공해야한다.

본 논문에서는 증강현실 기술을 사용한 소동물의 정맥주사 시뮬레이터를 제안한다. 제안한 시스템은 소동물의 다리의 정보를 가지는 실리콘 재질의 소품, 5CC 주사기를 개조한 사용자의 입력 및 포스 피드백을 위한 센서, 증강현실의 위치 인식을 위한 마커 및 정맥주사 훈련과정을 전반적으로 모니터링 하면서 사용할 수 있는 WorkBench로 구성된다. 실험 참여자는 실제 소동물과 동일한 크기를 가지는 실리콘 다리소품을 가지고 정맥주사를 수행할 위치를 확인하고, 정맥주사기를 사용하여 정맥의 위치에 삽입을 시도한다. 이때, 각각 개다리 소품과 정맥 주사기에는 증강현실 인식을 위한 마커를 부착하고, 주사기와 개다리 소품의 3차원 위치를 인식한 후, 개다리 소품의 내부에 위치하는 정맥을 주사기가 제대로 뚫었는지를 판단하게 된다. 이후 사용자가 정맥주사 실험이 완료된 것으로 판단하고 버튼을 누르게 되면, 시스템에서 실험의 성공 여부에 따라 다양한 시각적, 청각적 및 포스 피드백을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 동물 의료 행위 중 정맥 주사 과정에 대한 특징과 문제점들을 살펴보고 기존의 인간 의료 행위를 위해 만들어진 의료 시뮬레이터들의 연구에 대해서 알아본다. 그리고 3장에서는 본 논문에서 제안한 증강현실 기술을 사용한 정맥주사 시뮬레이터의 시스템 구성에 대해서 논한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 시스템을 사용하여 정맥주사 훈련을 수행하는 경우와 기존의 방법으로 정맥주사 실험을 하는 경우에 발생하는 교육적 효과에 대한 평가를 수행한다. 5장에서는 본 논문의 한계 및 향후 논의되어야 할 내용을 다룬다.

2. 관련연구

동물 의료 훈련에서 정맥주사 실험은 수의사의 필수적인 진료행위이나 눈에 보이지 않는 정맥의 3차원적인 위치를 촉각 등에 의존해서 찾아야 한다는 점을 가지기 때문에 초보자들이 배우기 어려운 단점을 가지고 있다[3]. 이러한 점을 해결하기 위하여 동물 의료 분야에서는 개다리의 모양을 한 소품을 대상으로 정맥주사 훈련을 하고 있다[4, 5]. 사용자가 개다리에 정맥주사 훈련을 하고자 하는 경우 실제 개의 다리와 유사한 개다리를 한손으로 잡고 다른 한손으로 정맥주사기를 가지고 직접 찌르면서 실험을 수행하게 된다. 사용자들은 이러한 과정을 반복 하면서 실제 소동물에 대한 정맥주사 행위를 훈련할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 사용자가 성공 및 실패를 하였을 때에 따른 적절한 다른 피드백들을 제공해줄 수 없다는 점에서 소품을 사용한 훈련은 한계를 가진다.

한편, 정맥 주사과정은 인간 의료들 중에서도 가장 기본적이면서도 많이 사용이 되는 분야이지만, 실제 인체에 대한 실험을 해야 하기 때문에 실험에 필요한 개체 수를 확보하는데 문제를 가지고 있다[6, 7]. 따라서 많은 연구자들은 정맥 주사 실험의 의료 시뮬레이터 제작 및 개발에 많은 연구를 해왔다. 대표적인 예로 Immersion 사는 Virtual I.V[8] 이라는 시뮬레이터를 개발 하여 의료 정맥 주사 훈련 실험에 적용 할 수 있도록 상용화를 한 상태이다. Smith 와[9]와 Zorcolo[10]는 Phantom 햅틱

인터페이스[11]을 활용하여 의료용 카테터 주사기 시뮬레이터를 개발하였다. 한국에서는 ARVision 이라는 회사가 Phantom 햅틱 디바이스를 사용한 정맥 주사 훈련 시뮬레이터를 출시하였다[12]. 하지만 이들은 기존에 존재하는 범용 햅틱 인터페이스를 응용하여 정맥 주사 시뮬레이터를 개발하였기 때문에 실제 의료 실험에 사용 되는 정맥 주사 실험의 모델과는 다른 외형적 특징을 가지고 있다.

정맥 주사 시뮬레이터를 사용한 교육효과에 대한 연구로 Matin 등은 가상현실 환경에서 정맥 주사 시뮬레이터를 할 수 있도록 시스템을 개발하고 이에 대한 교육 평가를 할 수 있는 시스템을 제안하였으며, 실험 결과 정맥 주사 시뮬레이터를 사용하는 경우가 사용하지 않는 경우에 비해 교육적인 효과가 있음이 판명되었다[13]. 하지만 이러한 정맥 시뮬레이터들은 가상현실 환경을 기반으로 제작되었기 때문에 훈련을 받는 동안 사용자가 정맥주사 도구를 조작하여 훈련을 하는 작업공간과 작업 결과에 따른 진행상황 점검 및 시각적인 피드백을 받는 관찰공간이 분리된다는 단점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 인간 의료 및 훈련을 위한 증강현실 기반 시뮬레이터들에 대한 연구가 이루어지고 있으나 정맥 주사 시뮬레이터에 대한 개발은 아직까지 없는 상황이다. 또한 현재까지 개발된 인간에 대한 의료 훈련 시뮬레이터들의 경우에는 동물이 대상이 아닌 사람을 대상으로 하였기 때문에, 일반적으로 정맥의 혈관이 인간에 비해 훨씬 작고, 다른 위치에 존재하는 소동물에 대한 정맥주사 실험으로 대체하기에는 무리가 있다.

3. 시스템 구성

3.1 설계 고려사항

본 논문에서 제안하는 증강현실 기반의 소동물용 정맥 주사 시뮬레이터를 제작하기 위하여 다음의 표 1과 같은 정맥 주사 훈련을 위한 특징들을 추출하고 정리하였다. Presence 는 증강현실을 사용한 실험을 수행할 때, 실제와 유사한 모양과 크기를 가진 소품을 사용할수록 사용자들이 실험이 실재와 같다고 인지하고, 결과적으로 가장 유사한 실험 결과를 얻는 점에서 착안하였다[14]. 따라서 소동물에 대한 정맥 주사 실험을 하는 경우에, 소동물의 다리와 가장 유사한 모델을 제공할 수 있어야한다.

Feedback의 경우는 일반적으로 멀티모달 인터랙션에서 사용자의 행위에 대한 멀티모달 피드백을 제공해주는 경우가 단일 피드백을 제공하는 경우에 비해서 학습효과가 더욱 빠른 것으로 평가되고 있다는 점에서 착안 하였다[15]. 특히, 실제 소동물에 대한 정맥주사 실험을 하는 경우에는 사용자의 사소한 작업 실수로 인해 정맥을 뚫고 지나가 버리거나 실험동물에게 극심한 고통을 줄 수 있으므로, 시각적, 촉각적 및 청각적 피드백들을 모두 사용한 시뮬레이터를 설계함으로써, 사용자들의 정맥주사 실험의 실패 확률을 줄일 수 있다.

Usability부분에서 고려할 점은 일반적인 증강현실 시스템인 HMD나 모바일 디스플레이를 사용하는 경우 본 논문에서 해결하고자 하는 정맥주사 훈련에 대한 기대를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 먼저 HMD를 사용하는 경우에는 안경을 착용한 사용자들에게 적용하기가 매우 힘들며, HMD의 무게로 인해 사용자들이 시스템 사용에 불편을 호소할 수 있다. 또한 모바일 디스플레이를 사용한 증강현실 시스템의 경우는 정맥주사 훈련에서는 적용할 수가 없는데, 그 이유는 정맥주사 훈련은 한손은 소동물의 다리를 만지면서, 다른 한손으로 주사기를 조작하는 양손을 사용한 훈련과정이기 때문이다. 따라서 이러한 점을 고려해서 다양한 사용자들이 만족하여 사용할 수 있는 증강현실 시스템의 개발을 고려해야한다.

Educational Effect의 경우에는 실제 사용자들이 본 논문에서 제안하는 증강현실 기반의 소동물의 증강현실 시뮬레이터를 사용하는 경우 학습효과를 입증할 수 있어야 한다. 본 논문에서 적용하고자 하는 주요 대상층은 정맥주사 실험을 해본 적이 없는 수의학과 1~2학년 학생들을 대상으로 진행하기 때문에 이러한 초보자들이 정맥주사 훈련을 충분히 할 수 있도록 체계적인 훈련 과정이 설계되어야 한다.

표 1. 증강현실 기반 소동물용 정맥 주사 시뮬레이터를 위한 고려사항

고려점	내용
Presence	정맥주사 훈련에 사용되는 환경은 실제 실험 환경과 유사하게 제작되어야한다. 특히 개다리 및 정맥 주사기의 경우는 실제와 유사하게 제작되어야 한다.
Feedback	정맥주사 훈련을 하는 경우 사용자의 성공 및 실패 여부에 따른 다양한 멀티 모달 피드백을 제공해 주어야 한다.
Usability	증강현실을 사용한 정맥주사 훈련을 하는 경우 사용자들에게 편의성을 제공해야 한다.
Educational Effect	제안한 시스템을 사용한 정맥주사 훈련 시스템을 사용하는 경우, 점진적인 학습효과를 고려해서 설계가 이루어져야 한다.

3.2 시스템 구조

본 논문에서 제안한 증강현실을 적용한 정맥 주사 실험 시스템은 다음의 그림 1과 같은 구조로 이루어진다. 먼저, 정맥 주사 시뮬레이션에 사용 되는 입력 장치들은 햅틱 주사기, 증강현실 환경에서 트랙킹을 위한 카메라를 사용한다. 이러한 다양한 입력 장치들의 입력 정보는 Sensor Manager를 통해 입력 데이터를 처리하며 이 데이터들은 다시 Coordination Manager에 전달되어, 각기 다른 입력 기기들 간의 좌표계를 통합하는 작업을 수행하게 된다. 이때, 미리 만들어진 소동물의 다리, 정맥 모델 및 3D 주사기 모델이 Model Loader를 통하여 Coordination Manager에 결합이 이루어지게 된다. 이제 이 정보들은 다시 Operation Manager에 전송 되어 정맥 주사 삽입에 대한 평가

시뮬레이션을 수행하게 된다. 이때 정맥 주사기의 위치, 각도 등에 따른 실시간 평가를 Training Manager에서 담당한다. 이후 사용자의 정맥 주사 실험이 완료 되는 경우 실험의 성공 유무에 따른 결과를 각각 Visual, Sound, Force 피드백을 통하여 사용자에게 전달한다. 이때, 본 논문에서 제안하는 시스템은 이러한 피드백을 증강현실 환경에서 제공 받을 수 있다.

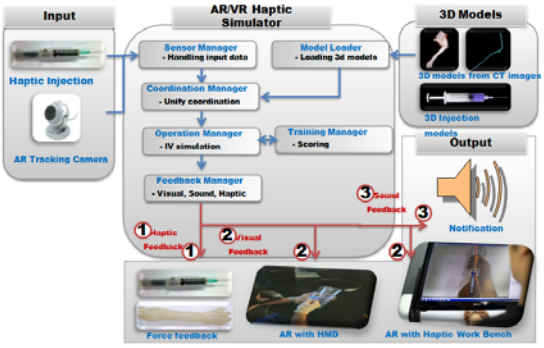

그림 1. 증강현실 기반 정맥 주사 훈련 시뮬레이터의 시스템 구성도

3.2.1 정맥주사 시뮬레이터의 개발

본 연구에서는 실제 정맥 주사 과정과 거의 동일하고 사실적인 정맥 주사 시뮬레이션을 위하여 햅틱 정맥 주사 시뮬레이터를 개발 하였다. 이를 위하여 햅틱 정맥 주사기의 외관은 실제 정맥 주사에 사용 되는 5CC 정맥 주사기를 외관으로 작성 되었으며, 실험에 사용 하는 니들 역시 실제 주사기에서 사용 하는 니들을 사용 하였다.

이러한 정맥 주사기를 통한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하게 되는 경우 가장 중요한 부분은 외관의 동일성 외에도, 실험자가 정맥 주사 삽입 과정 시에 발생하는 다양한 형태의 입력 작업을 처리해 줄 수 있어야 한다. 이러한 상황에서 필요한 정보는 주사기의 3차원 위치 및 주사기가 정맥에 삽입이 되었을 때 주사기와 정맥 및 피부 조직간 각도 정보들이다. 이를 위해서 본 연구에서는 정맥 주사기의 3차원 위치에 주사기가 가지는 방향 각도를 계산하여 입력 값으로 제공을 해준다. 위치 추적 센서들은 3개의 자이로 센서들로 구성되어 있으며 오일러의 각들 중 한 개씩을 5Khz의 샘플링 속도로 추출한다. 이후 추출된 값들 중에서 에러 값을 제거하고, 통합된 오일러 각들 정보와, 이 각들에 대한 야코비안 행렬의 역행렬을 연산하여 좌표정보를 구한다[16].

그림 2. 본 연구에서 개발한 정맥주사 시뮬레이터

또한, 정맥 주사기의 주입 후 정맥 주사 시뮬레이션의 성공 여부를 판단하기 위한 입력 인터랙션이 필요하다. 이를 위해서 본 논문에서는 주사기에 버튼 등을 달아서 사용자가 실험 후에 버튼을 클릭함으로써 실험의 성공 유무를 본 논문에서 제안한 시스템에 요청 할 수 있도록 하였다. 이후, 시스템에서 시뮬레이션의 판정이 실패로 판단 되는 경우에는 다시 정맥 주사기를 통하여 포스 피드백을 제공할 수 있다. 이를 위하여 그림 2에 있는 주사기 안에 장착된 진동 모터의 진동을 통한 Force Feedback을 제공할 수 있으며, 이러한 진동 모터의 제어를 진동의 크기(Power), 진동 시간(Time)을 설정하여 사용자들에게 실험 결과에 따른 다양한 피드백을 제공할 수 있다.

3.2.2 CT Image 촬영을 통한 3차원 개다리 및 정맥정보의 생성 및 증강현실을 위한 소품 생성

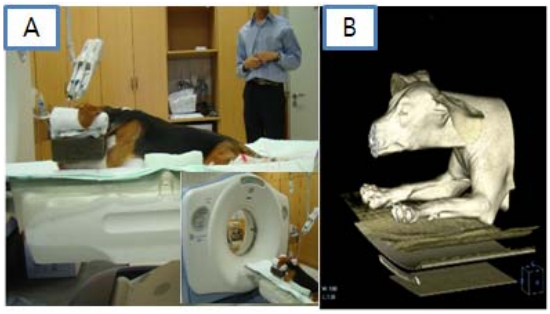

그림 3. 비글견을 대상으로한 정맥주사용 소품 작성 (A) CT 촬영 과정 (B) CT 이미지를 바탕으로 생성된 3D 볼륨 정보

본 연구에서는 소동물의 실제 정맥 주사 과정과 유사한 시뮬레이터 구성을 위하여 다음의 그림 3과 같이 비글견을 대상 동물로 선정 하고 CT 촬영을 한 뒤 얻어진 이미지들에 대한 3D Volume Image를 구성 하였다. 이렇게 구성된 3D Volume Image 중에서 정맥 주사 실험에 필요한 개의 앞다리 부분 및 정맥 부분에 대한 Segmentation 과정[17]을 수행하여 2개의 3D 모델을 추출 하였다 다음의 그림 4는 2D CT Image에 대한 Segmentation을 통해 얻어진 3D 모델 정보이다. 그림 4.(A)는 해당 비글견의 왼쪽 다리이며, 그림 4.(B)는 왼쪽다리에 존재하는 정맥의 정보이다.

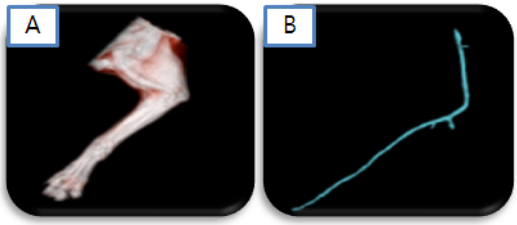

그림 4. CT Image로부터의 추출된 3D 모델 정보 (A) 비글견의 왼쪽 다리 (B) 왼쪽다리에 있는 정맥의 정보

이후 만들어진 3D 모델 중에서 정맥 3D 모델은 실제 시뮬레이션 과정에서 정맥 주사기와의 삽입 판별 과정에 사용 되며, 개다리 모델은 실제 정맥 주사 시뮬레이션 과정에서 사용 하는 실험용 소품으로 개발 되었다. 본 논문에서 제안한 정맥 주사 시뮬레이션 과정에서는 주사기를 사용하여 개다리 소품을 찌르는 경우, 실제 비글견에 대한 정맥 주사를 하는 것과 유사한 느낌을 제공해 줄 수 있어야 한다. 이를 위해서, 본 논문에서는 소동물의 크기와 똑 같은 모양과 크기를 제공해 주면서도 정맥 주사를 하는 사용자들이 피부를 뚫고 정맥을 뚫을 때의 느낌과 저항감[18, 19]을 효율적으로 표현해 줄 수 있도록 10 ° C 경도를 가지는 실리콘 모양의 개다리를 제작 하였다. 제작된 개다리의 모습은 다음의 그림 5와 같다.

그림 5. 실리콘으로 제작된 개다리 모형

3.2.3 증강현실 실험을 위한 마커 기반 시뮬레이션 모델 설계

본 논문에서 제안한 시스템을 사용하여 정맥 주사 실험을 하는 경우에 정맥 주사기로부터 얻어진 3차원 좌표 정보와 마커를 같이 부착하여 실험을 하게 된다. 이 과정에서 정맥 주사기의 좌표 정보와 트랙커들로 부터 얻어진 좌표 정보의 통합 과정 및 보간 과정이 이루어지게 된다. 이러한 이유는 정맥 주사기의 좌표계와 실리콘 개다리 소품에 부착된 증강현실 좌표들을 통합하고 서로 보간 하여 좌표 인식 과정에서 발생할 수 있는 에러를 줄이기 위함이다. 이러한 과정은 다음의 수식 1과 같이 구성 된다. 즉, 통합 좌표에서의 주사기의 좌표 정보 U_I 는 증강현실용 트랙커로부터 얻은 좌표계인 A_I의 정보에 정맥 주사기의 좌표 정보 H_I에 상수 보간 값 α 의 곱을 더해주게 된다. 개다리 소품의 좌표 정보 UD 는 가상현실 및 증강현실 좌표 정보에 원래 개다리 정보가 가지고 있는 좌표 위치 정보의 곱으로 변환이 이루어지고, 이 좌표에서 상대적인 위치 δ 값에 정맥의 위치를 적용 한다. 정맥 주사 시뮬레이션의 경우에 이러한 정맥 주사기의 위치 UI 가 정맥의 위치인 UV 중 정맥 삽입이 가능한 위치에 삽입이 되고 이때, 정맥 주사기가 가지는 각도를 평가하여 정맥 주사의 실패 유무를 판단한다.

본 연구에서는 이러한 정맥주사 훈련과정에 대한 인식을 손쉽고 빠르게 처리하기 위해서 마커기반 증강현실 프로그램인 ARToolkit[20]을 사용하여 개발 하였으며, 다음의 그림 6은 이전단계들에서 만들어진 정맥주사 시뮬레이터 및 개다리 소품에 마커가 부착된 모습이다.

$$
\begin{aligned}
U_I &= A_I + \alpha H_I \\
U_D &= U_D = A_D \times P_D \\
U_V &= U_D + \delta
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

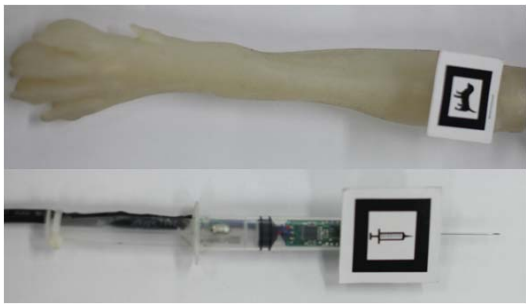

그림 6. ARToolkit Marker를 부착한 실리콘 개다리 및 정맥주사기

3.2.4 증강현실 실험을 위한 Work Bench의 개발 및 실험 적용

그림 7. WorkBench (A): 정면 모습 (B) 측면 80도 각도인 경우 (C) 측면 50도 각도인 경우

본 연구에서는 증강현실 기반 정맥 주사 시뮬레이터의 효과적인 적용을 위하여 그림 6의 Work Bench를 개발하였다. 기존의 증강현실 연구에서 사용 하던 HMD를 착용하여 실험을 하는 경우에는[21] 좁은 디스플레이 공간, 사용자의 움직임에 따른 시점 변환 현상 및 HMD의 무게로 인한 사용자들의 피로감 증대 등의 문제 등이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서 제안된 Work Bench는 그림 5와 같이 일반 22~24인치 크기의 일반 LCD 모니터의 탈부착이 가능 하며, Work Bench의 상단부와 안쪽에 2대의 증강현실 인식용 카메라가 설치되어 있다. 또한 Work Bench는 작업을 하는 사용자의 신체에 따른 편의성을 제공하기 위해 그림 7의 B와 C와 같이 와 같이 80도~50도 사이까지 모니터의 화면을 조정 가능하다.

이후 WorkBench를 사용하여 정맥 주사 실험을 하는 경우에

는 사용자는 한 손에는 소동물 다리 실리콘 모델을 쥐고 다른 한 손에는 정맥 주사기를 들고 실험을 진행할 수 있다. 이때 AR WorkBench에서의 시각화된 모습은 그림 8의 (A)와 같으며, 그림 8의 (B)는 실제 실험 장면 이다.

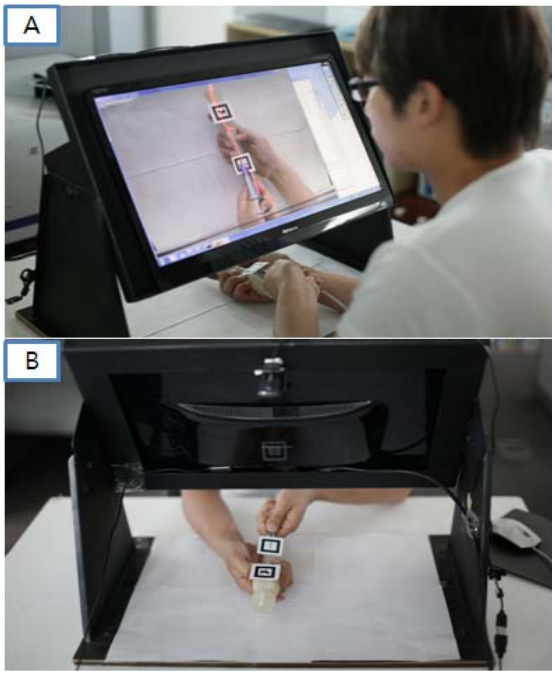

그림 8. WorkBench에서 소동물에 대한 정맥주사 훈련을 하는 과정

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 증강현실기반의 소동물용 정맥주사 훈련 시스템에 대한 성능평가를 위하여 정량적 평가 및 정성적 평가를 수행하였다. 정량적 평가에서는 2가지 평가를 수행하였다.

첫 번째 정량적 성능평가로써 본 논문에서 제안한 증강현실 기반의 소동물용 정맥 주사 훈련 시스템의 자체적인 성능평가를 수행 하였으며 Core2 Quad CPU 및 nVidia GTX 256 그래픽 카드가 장착된 PC를 실험에 사용하였다. 표 2는 본 논문에서 제안한 시스템에 사용된 모델들의 폴리곤의 수 정보이다. 실험을 위해서 1시간 동안 사용자가 정맥주사 훈련과정을 수행하면서 실험 과정에 대한 속도를 측정 하였다. 모든 객체가 증강된 상황에서 평균 FPS 와 사용자가 실험을 완료하는 과정에서 정맥주사기의 버튼을 눌렀을 때, 이를 확인하고 진동 피드백을 걸리는 계산 시간을 측정하였으며 결과는 다음의 표 3과 같다. 실험 결과를 통해서 본 논문에서 제안한 시스템이 일반 컴퓨터 환경을 사용하여서도 실시간 적인 반응 속도를 유지함을 알 수 있다.

표 2. 실험에 적용된 3D 모델의 폴리곤 정보

모델	폴리곤수
주사기	577
개다리모델	11,292
정맥혈관모델	84,083

표 3. 제안한 시스템의 성능 평가 결과

측정 요소	평균 측정 결과
렌더링 속도(FPS)	29.3
주사기 처리(ms)	13

두 번째로는 본 논문에서 제안한 시스템의 학습효과에 대한 비교 평가를 수행 하였다. 본 논문에서 제안한 증강현실 기반의 정맥 주사 훈련 시스템은 크게 2가지의 기존 연구와 비교를 수행하였는데, 먼저 증강현실을 전혀 사용하지 않는 기존의 실리콘 소품을 사용한 훈련 방법이다. 이 방법은 기존의 수의 대학에서 정규 교육과정 등에서 사용되는 방법으로 본 논문에서 제안한 방법과의 비교를 통해 교육효과의 우수성을 검증할 수 있다. 다음으로는 본 논문에서 제안한 증강현실 기반의 정맥주사 훈련 시스템을 사용하지만 Head Mounted Display(HMD)를 장착하는 경우이다. 이 경우에는 본 논문에서 제안한 WorkBench을 사용하는 경우와 일반적인 HMD를 사용하여 훈련을 하는 경우에 대한 사용자들의 교육 정도 및 사용자 만족도를 검증 할 수 있다.

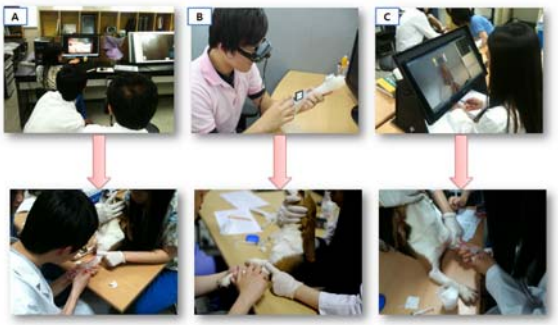

그림 9. 3가지 방법들에 대한 실험 과정 (A) 기존의 동영상 강좌 및 소품을 대상으로 한 훈련을 수행 후 실전 테스트 (B) HMD을 착용한체 증강현실 기반의 정맥 주사 훈련을 수행 후 실전 테스트 (C) WorkBench를 사용하여 증강현실 기반의 정맥 주사 훈련을 수행 후 실전 테스트

본 논문에서 제안한 시스템의 학습효과를 검증하기 위해서 건국대학교 수의학과에 재학 중인 학생들 중에서 정맥주사 실습을 해본 적이 없는 예과 및 본과의 1,2학년 학생들 60명을 선별 하고, 20명씩 각각 A, B, C 그룹으로 분리하였다. A그룹을 대상으로는 증강현실 기반의 정맥주사 훈련이 아닌, 동영상을 통한 교육 및 실리콘 다리만을 대상으로 한 교육을 수행하였다. B 그룹을 대상으로는 본 논문에서 제안한 정맥 주사 훈련 시스템을 Head Mounted Display(HMD)을 사용하여 훈련을 진행

하였다. 마지막 C 그룹 사용자들의 경우에는 본 논문에서 제안한 Workbench를 사용한 증강현실 기반의 정맥주사 훈련을 수행하였다. A그룹의 사용자들은 동영상 강좌를 듣고, 개다리 소품을 가지고 시뮬레이터 없이 15회 정맥 주사 훈련 하고, B그룹과 C그룹의 사용자들은 본 논문에서 제안된 시뮬레이터를 사용하여 15회씩을 실험을 수행한 다음 모든 그룹들은 비글견을 대상으로 2회씩 정맥주사 실험을 진행하였다. 그림 9는 실험 과정을 보여준다.

실험이 진행되는 동안 B 및 C그룹에 해당하는 사용자들은 15회의 실험동안, 정맥주사 과정의 성공 여부 및 평균 작업 시간을 측정하며, 이후에 A, B, C에 속한 참가자들 모두가 실제 개에 대한 정맥주사 훈련과정을 2회씩 수행 하였으며 표 4와 같은 채점 기준에 의해 점수를 평가하였다.

표 4. 실제 정맥 주사 기준에 드는 평가 기준

평가 항목	평가 기준	점수
실제 개다리의 고정 여부	실험을 진행을 도와주는 수의사들이 판단	1점 만점
정맥을 찾았는지를 판단	정맥의 위치 및 주사기의 방향을 판단	1점 만점
정맥을 제대로 뚫었는지를 판단	주사기의 피스톤을 약간 뒤로 뺐을 때, 주사기 안으로 피가 나오는 경우 성공	1점 만점
전체적인 성공 판단	주사액의 주입시 혈관 주위에 부어오르는 현상이 발생하지 않아야함, 주사기를 완전히 뺐을 때, 혈관 주변이 피로 나오지 않도록 지혈을 해야 함	2점 만점

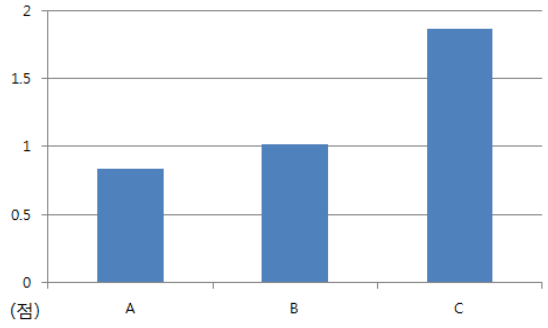

그림 10. 3가지 방법들에 대한 실제 정맥주사에 대한 점수 평가 결과

그림 10은 A, B, C 그룹에서 평가된 정맥주사 점수의 평균 점수 결과이다. 그림 10의 결과에 따르면 본 논문에서 제안한 증강현실 기반의 정맥 주사 훈련 시뮬레이터를 사용하여 실험을 하는 경우에 더 높은 정맥 주사 점수를 얻음을 알 수 있다. 해당 결과가 통계적으로 유의한지를 검증하기 위해서 Oneway ANOVA 테스트를 수행하였으며 다음의 표 5와 같이 ANOVA 테스트 결과 p-값이 3.09E-5 〈 0.05이므로 각 실험 그룹에서 발생한 정맥주사의 결과가 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

표 5. 세그룹간의 정맥주사 점수에에 대한 Oneway ANOVA 테스트결과

차이	제곱합	F비	P-값	F기각치
26.30138	37.86546	12.53077	3.09E-05	3.158843

사용자들의 실제 정맥주사 훈련과정에 소요된 평균 시간에 대한 그래프는 다음의 그림 11과 같다. 시간 역시 본 논문에서 제안한 방법을 사용하는 경우 정맥주사 과정을 빨리 완료할 수 있다는 결과를 얻었으며, ANOVA 테스트 결과 다음의 표 6과 같이 p-값이 0.004056 〈 0.05 이므로 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

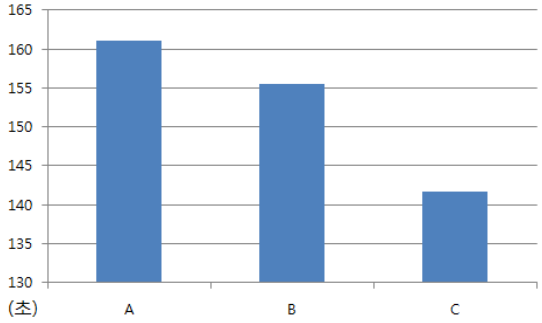

그림 11. 3가지 방법들에 대한 실제 정맥주사에 대한 평균 작업 시간 결과

표 6. 세그룹간의 정맥주사 결과에 대한 Oneway ANOVA 테스트결과

차이	제곱합	F비	P-값	F기각치
24926.9	30240.93	6.075764	0.004056	3.158843

두 번째 평가로는 HMD를 사용하는 B그룹과 WorkBench를 사용하는 C그룹의 증강현실 환경의 평균 성공률과 평균 작업 시간을 측정 하였다. 다음의 그림 12은 평균 성공률을 그림 13은 평균 작업 시간을 보여준다. 두 그림들을 보고 분석을 하는 경우에 WorkBench를 사용하는 경우 HMD를 사용하는 경우에 비해 보다 높은 교육 효과를 얻을 수 있다. 또한 각각 성공률과 평균 작업 시간에 대한 ANOVA 검정 결과 다음의 표 7, 8과 같이 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

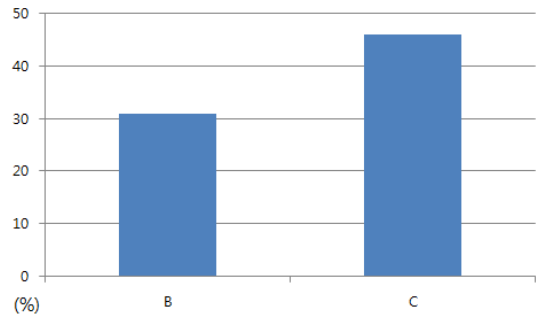

그림 12. 증강현실 환경에서 B그룹(HMD 사용) 과 C그룹(WorkBench)사용 그룹간의 평균 성공률

표 7. 증강현실 기반 훈련과정에서 B그룹(HMD 사용) 과 C그룹(WorkBench)사용 그룹간의 성공률에 대한 ANOVA 테스트 결과

차이	제곱합	F비	P-값	F기각치
1.570975	1.815898	5.924382	0.019743	4.098172

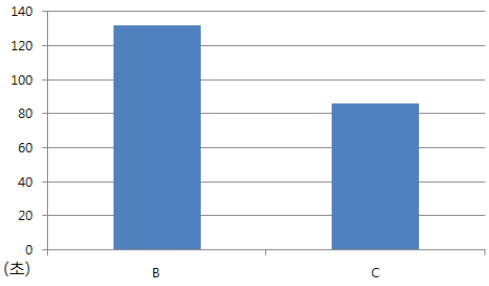

그림 13. 증강현실 환경에서 B그룹(HMD 사용) 과 C그룹(WorkBench)사용 그룹간의평균 작업 시간

표 7. 증강현실 기반 훈련과정에서 B그룹(HMD 사용) 과 C그룹(WorkBench)사용 그룹간의 평균 작업 시간에 대한 ANOVA 테스트 결과

차이	제곱합	F비	P-값	F기각치
34565.75	50525.78	17.54572	0.000161	5.091134

실험이 끝난 이후, 실험에 참여한 B 그룹과 C 그룹의 사용자들을 대상으로 사용자 평가를 수행하였다. 수행결과 본 논문에서 제안한 증강현실 기반의 정맥주사 시뮬레이터를 사용하는 경우 정맥주사 훈련에 도움이 된다는 의견을 주었다. 한편, HMD를 사용 하였던 B그룹의 사용자들은 HMD를 사용하는 경우 안경 착용이 힘들고, HMD의 착용감이 불편하여 실험 도중에 방해를 받았다는 지적을 하였다. 또한 B 그룹과 C 그룹에서 공통적으로 카메라를 통한 영상으로 3차원 실리콘 개다리에 대한 정맥 주사과정을 수행하므로 깊이 정보를 알기 어렵다는 점을 지적 받았다.

4. 결론

본 논문에서는 증강현실 기술을 사용하여 동물 의료 과정중의 하나인 정맥주사 훈련을 도와줄 수 있는 시뮬레이터를 제안한다. 제안하는 시스템은 동물의 다리와 유사한 모양을 가지는 실리콘 재질의 소품을 제공하고, 실제 정맥 주사기를 개조하여 사용자의 입력 및 이에 따른 포스 피드백이 가능한 주사기를 제공한다. 또한, 정맥 주사에서는 사용자가 양손을 모두 사용해야 하기 때문에 사용자들의 작업을 지원하는 WorkBench를 제안하였으며 증강현실기술을 사용하여 사용자들에게 정맥의 정보를 보여주면서 훈련을 할 수 있도록 구성하였다.

향후에는 먼저 사용자 평가부분에서 지적 받았던 깊이감 문제를 해결할 예정이다. 또한 마커 기반의 증강현실 인식 방식이 아닌 좀 더 자연스러운 객체에 대한 인식 방법을 개발할 예정이다. 마지막으로는 정맥주사 외에도 다양한 동물 의료 훈련을 지원하는 시스템들을 개발할 것이다.

참고문헌

[1] May, S. A. Modern Veterinary Gradutes Are Outstanding, But Can They Better?. Journal of Veterinary Medical Education. Vol.35. No. 4. University of Toronto Press. pp. 573-580. 2011.

[2] INTERNATIONAL GUIDING PRINCIPLES FOR BIOMEDICAL RESEARCH INVOLVING ANIMALS (1985). http://www.cioms.ch/publications/guidelines/1985_texts_of_guidelines.htm

[3] Injections for a dog?. http://wiki.answers.com/Q/Injections_for_a_dog

[4] http://www.vetmed.ucdavis.edu/products/vatm.cfm

[5] http://veteffects.com/products.htm

[6] Prystowsky, J. B., Regehr, G., Rogers, D. A., Loan, J. P., Hiemenz, L. L., Smith, K. M. A Virtual Reality Module for Intravenous Catheter Placement. The American Journal of Surgery Vol. 177. No. 2. Elsevier. pp. 171-175. 1999.

[7] Reznek, M. A., Rawn, C. L., Krummel, T. M. Evaluation of the educational effectiveness of a virtual reality intravenous insertion simulator. Academic Emergency Medicine Vol. 9. Wiley. pp. 1319-1325. 2002.

[8] Laerdal Corp. http://www.laerdal.com/doc/6473945/Virtual-I-V.html

[9] Smith. S and Todd. S. Collaborative evaluation of a haptic-based medical virtual environment. In Proc. of the 4th INTUITION Int. Conf. on Virtual Reality and Virtual Environment. pp. 102-110. 2007.

[10] Zorcolo. A., Gobbetti. E., Pili. P. and Tuveri. M. Catheter Insertion Simulation with Combined Visual and Haptic Feedback. In Proc. of First PHANToM Users Research Symposium. May. 1999.

[11] Massie. T and Salisbury. K. The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects. In Proc. of the ASME Winter Annual Meeting. Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Envir. And Teleoperator Systems. Chicago. IL. Nov. 1994.

[12] AR-Sim. http://www.ar-vision.com/new/ar_movie/movie_1_1.html

[13] Martin. A., Reznek. MD., Chantal L.. Rawn. BA., Thomas. M. and Krummel. MD. Evaluation of the Educational Effectiveness of a Virtual Reality Intravenous Insertion Simulator. Academic Emergency Medicine. Vol. 9 No. 11. Wiely. pp. 1319-1325. 2002.

[14] Kown. E., Kim. G. J. and Lee. S. Effects of Sizes and Shapes of Props in Tangible Augemtned Reality. In Proc. of the 2009 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. pp. 201-202. 2009.

[15] Cockburn. A. and Brewster. S. Multimodal feedback for the acquisition of small targets. Ergonomics Vol 48. OMICS. pp. 1129-1150. 2005

[16] You. S. and Neumann. U. Fusion of Vision and Gyro Tracking for Robust Augmented Reality Registration. In Proc. of the Virtual Reality 2001 Conference. p. 71. 2001.

[17] Seo. A., Chung. S. K., Lee. J., Kim. J. I., and Kim. H. S. Semiautomatic Segmentation of Nasal Airway Based on Collaborative Environment. 2010 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality. pp. 56-59. 2010.

[18] DiMaio. S. and Salcudean. S. Needle insertion modeling and simulation. In Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat. Vol. 2. pp. 2098-2105. 2002.

[19] Okamura. A., Simone. C. and O' Leary. M. Force modeling for needle insertion into soft tissue. IEEE Trans. on Biomedical Engineering. Vol. 51. No. 10. IEEE. pp. 1707-1716. 2004.

[20] ARToolkit. http://www.artoolworks.com/products/desk-top/artoolkit-for-desktop/

[21] Fuchs. H., Livingston. M. A., Raskar. R., Colucci. D., Keller. K., State. A., Crawford. J. R., Rademacher. P., Drake. S. H. and Meyer. A. A. Augmented Reality Visualization for Laparoscopic Surgery. MICCAI '98 Proceedings of the First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. 1998.

이 준

2004년 건국 대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 2006년 건국 대학교 대학원 컴퓨터정보통신학과 졸업(공학석사). 2012년 건국 대학교 신기술융합학과 iIT전공 졸업(공학박사). 2012년~현재 건국대학교 유비쿼터스정보기술연구원 및 HCI 연구실 Post Doc. 관심분야는 협업가상환경, 인간-컴퓨터 상호작용임.

서 안 나

1997년 서남대학교 전산통계학과(이학사). 2001년 건국 대학교 대학원 컴퓨터정보통신학과(공학석사). 2001년~현재 건국 대학교 컴퓨터정보통신학과 박사과정. 관심분야는 의료 영상 처리, 가상현실, 인간-컴퓨터 상호작용임.

김 원 종

2012년 을지대학교 의료전산학과 졸업(공학사). 2012년~현재 건국대학교 신기술융합학과 융합IT전공 HCI연구실 석사과정. 관심분야는 증강현실, 인간-컴퓨터 상호작용임.

김 지 인

1982년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사). 1984년 KAIST 전산학과 (공학석사). 1993년 University of Pennsylvania 전산정보학 박사. 1982년~1987년 금성통신 연구소 개발부장. 1993년~1995년 미국 CCCC 연구원. 1995년~현재 건국대학교 인터넷 미디어공학부 교수. 관심분야는 가상현실, 인간-컴퓨터 상호작용임.

이 승 연

2009년 건국대학교 수의학과 석사, 2009년 ~현재 건국대학교 수의학과 방사선 및 영상진단학과 박사과정. 관심분야는 방사선, 초음파, MRI, CT를 이용한 소동물 임상 영상 진단.

엄 기 동

1989년 서울대학교 수의학과 학사, 1991년 서울대학교 임상수의학 석사, 1993년 서울대학교 임상수의학 방사선학 박사. 2002~2006년 경북대학교 영상진단학 조교수. 2006~현재 건국대학교 방사선 및 영상진단학과 부교수