

의료 시뮬레이션을 통한 학습 효과

이 글에서는 의료 시뮬레이션을 통한 학습이 실제 기술 능력의 향상을 가져올 수 있는지를 고찰하고, 효율적인 학습을 위해서 어느 정도의 시뮬레이션 충실도가 필요한지를 점검하기 위한 테스트베드(test-bed)를 소개한다.

최 근 들어 가상 공간에서 의 의료 시뮬레이션 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 여러 가지 시술방법에 대한 시뮬레이션들이 개발되고 있는데 이 중 대부분은 최소침습적 수술(mini-mally invasive surgery)에 대한 시뮬레이션들이다. 실제로 의료계에서도 전통적인 절개술보다 회복시간이나 통증을 획기적으로 줄일 수 있는 최소침습적 수술 방법들이 확산되고 있는 추세다.

최소침습적 수술은 수술 부위를 최소로 절개한 후(주로 10cm 이하), 절개 부위를 통해 내시경과 수술기구를 삽입하여 수술하

는 방법이다. 시술자는 내시경에서 보내오는 영상을 모니터를 통해 보며 수술한다. 이 방법은 수술기구의 조작이 난해하다는 것이 단점이다. 모니터를 통해 보는 영상은 원근감이 없으며 현실감이 떨어져 hand-eye coordination에 어려움이 있다. 또한, 수술 부위를 긴 기구들을 통해 접촉하기 때문에 전통적인 절개술보다 미세한 촉감의 전달이 둔해진다. 더불어, 기구들이 절개 부위에 pivot하는 경우가 많기 때문에 기구의 길이에 의해 손떨림이 증대돼서 수술 부위에 전달된다. 따라서, 최소침습적 수술 기술은 전통적인 절개술보다 습

득하기 어렵다.

현재 최소침습적 수술의 학습은 레지던트들이 전문의를 수행하며 수술을 보조하고 관찰하면서 술기를 익히는 방법에 의존한다. 이런 방법에는 몇 가지 두드러진 문제점들이 있다. 레지던트들이 환자들을 상대로 학습을 하는데 따르는 위험 요소가 있다. 또한, 피교육자가 원하는 시간에 학습이 이루어질 수 없고 환자의 수술 일정에 맞춰야 한다는 단점이 있다. 그리고 학습에 대한 비평가 평가가 매우 주관적이며 충분하지 않을 수 있다.

이런 문제점들을 보완하기 위해 가상 공간에서의 의료 시뮬레

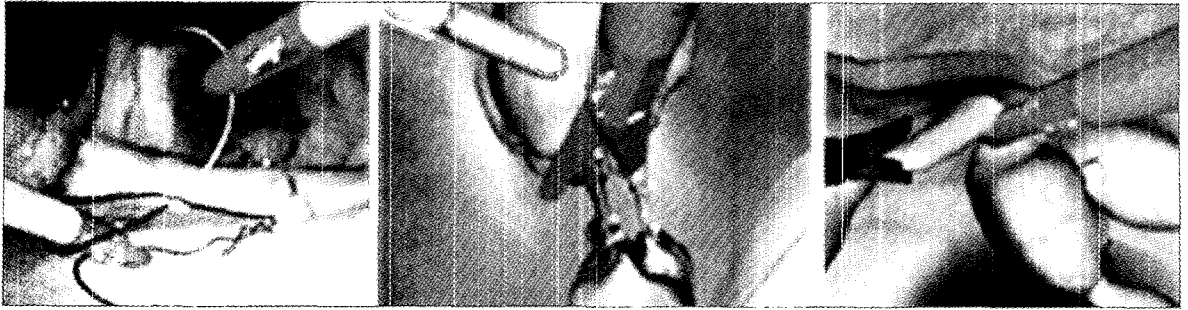


그림 1 Surgical Science 사의 LapSim을 이용한 복강경 수술 시뮬레이션

이션을 통한 학습 방법들이 연구되고 있다. 시각 및 햅틱(haptic) 인터페이스를 통해서 최소침습적 수술을 충실하게 재연할 수 있으면, 환자들에 대한 위험 부담이 없이 학습을 할 수 있는 환경을 제공할 수 있다. 또한, 학습이 언제나 가능하여 학습의 빈도를 높일 수 있으며 평가도 즉시 정성적 및 정량적으로 이루어질 수 있다. 여러 가지 시술 시나리오를 사용하여 한 개의 시뮬레이터에서 다양한 수술을 학습할 수 있고, 수술 환경을 변경하면서 여러 가지 조건과 상황에 대한 대응도 훈련할 수 있다.

의료 시뮬레이션에 대한 연구가 최근에 활발하게 이루어지고 있으나, 시각 및 햅틱 인터페이스가 실제 수술 상황과 100% 일치하는 시뮬레이션을 제공할 수 있게 만들기는 어렵다는 점에는 많은 연구자들이 동의한다. 우선, 수술 기구와 수술 부위 조직간의 상호작용을 완벽하게 모델화 하는 것이 쉽지 않다. 인간의 장기와 조직은 점탄성이 있고 이방성이 있으며, 비선형적이고, 균질하

지 않다. 또한 이런 조직들의 기계조건들도 알기 어렵다. 더욱이, 호흡에 의한 움직임, 혈액 순환 등과 같은 생리적인 요소들도 추가된다. 정확한 모델을 구축하기 위해서는 조직의 재료 속성을 알아야 하는데, 이 또한 생체 내에서 측정하기가 쉽지 않다. 모델이 구축된다 하여도 실시간 시뮬레이션을 위해서는 복잡한 모델을 빠르게 계산해야 한다.

그러나 다행인 것은, 술기의 효과적인 학습을 위해서는 굳이 100% 일치하는 시뮬레이션을 꼭 만들어야 할 필요가 없다는 것이다. 인간의 학습 기전과 제한된 시각 및 거동 능력, 그리고 인지 기전 때문에, 100% 일치하는 시뮬레이션과 훨씬 더 단순화된 시뮬레이션의 차이를 느끼지 못할 수도 있다. 더욱이, 인간의 신체 구조, 생리 체계, 그리고 조직의 재료성질은 개인마다 비교적 큰 차이를 보이기 때문에, 모든 환자 및 상황에 대한 완벽한 단일 시뮬레이터는 있을 수 없다. 항공기 조종이나 자동차 운전, 스포츠와 같이 가상현실 시뮬레이터가 학

습에 널리 쓰이는 다른 분야에서도 충실도(fidelity)가 완화된 시뮬레이터를 통해서도 학습 효과의 이동(positive training transfer)이 실증되고 있다. 따라서, 실증적인 학습 효과가 있기 위해서는 의료 시뮬레이션의 충실성이 어느 정도 요구 되는지를 파악하는 것이 중요하다.

가상 공간 내에서 획득한 수술 실력이 가상 공간 내에 한정되어 있고, 실제 수술에서는 아무런 효과가 없거나 오히려 역효과가 있을 가능성도 있다. 이 문제를 풀기 위해서는 충실도의 수준을 조정하면서 의료 시뮬레이터의 학습 효과를 측정하는 실험이 필요하다. 이것을 측정하기 위한 이상적인 방법은 각각 다른 충실도의 시뮬레이터를 통해 학습한 피시험자들로 하여금 실제 수술을 시행하게 하고 그 과정을 평가하는 것이다. 그러나 시뮬레이터의 학습 효과가 확실하지 않은 상황에서 검증되지 않은 피시험자들에게 환자를 맡길 수는 없으므로 다른 평가 방법이 필요하다.

현재 비교적 낮은 충실도를 갖

는 시뮬레이터를 평가하는 데 널리 쓰이는 방법은 역 학습효과 이동(inverse transfer of training)이다. 시뮬레이터에서 전문가들과 무경험자들의 실력을 비교하였을 때, 전문가들이 일관되게 높은 점수를 받는다면, 그 시뮬레이터가 효과적인 학습 도구로 사용될 수 있다는 것이다. 그러나 이러한 반대 논리를 이용한 방법은 실제 현실로의 학습 이동에 대해서는 단정적인 결론을 내릴 수 없다.

지금 대부분의 연구자들은 가장 충실도가 높은 의료 시뮬레이션을 개발하는 데 초점을 맞추고 있을 수도 있다. 그러나 충실도가 다소 떨어지는 시뮬레이션으로도 높은 학습 효과를 얻을 수 있다면 연구개발 방향이 조정될 필요가 있다. 햅틱 감각의 충실도가 어느 정도로 중요한가, 그래픽의 질감이나 조명효과는 실제로 학습에 어느 정도 영향을 미치는가 등의 질문들에 대한 해답이 필요하다. 따라서, 시뮬레이션 충실도의 변화에 따른 학습효과를 측정하기 위한 방법에 대한 연구가 중요하다.

이 글에서 소개하는 방법은 충실성의 요소들을 구분하여, 가상 공간의 학습 스테이션(station)과 현실 공간의 실력 측정 스테이션으로 이루어진 테스트베드(test-bed)를 이용하는 것이다. 전체적인 수술과정을 처음부터 끝까지 시뮬레이션하지 않고, 점검하고자

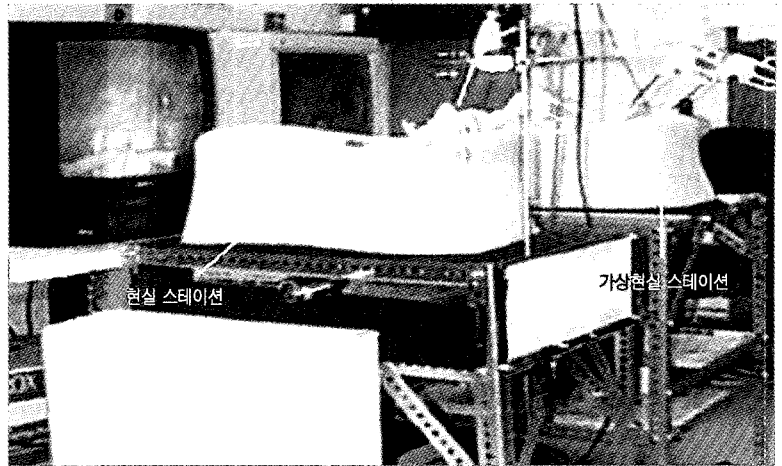


그림 2 현실 스테이션과 가상현실 스테이션으로 구성되어 있는 테스트베드

하는 특정 요소를 사람의 장기가 아닌 무생물의 물체들을 통하여 학습하는 방법이다. 예를 들어, 비선형 탄성 모델의 충실성이 학습에 미치는 영향을 고찰하고자 한다면, 사람의 장기와 비슷한 비선형 탄성을 가진 물체를 조작하는 임무를 시뮬레이터에서 학습한 후, 실제 물체를 조작하면서 학습효과를 측정하면 된다. 시뮬레이터에서 물체의 탄성 모델의 충실성을 조정하여 각 피시험자의 학습효과를 비교하면, 효율적인 학습을 위해서 어느 정도의 충실성이 필요한지 알 수 있다. 이와 같이 시뮬레이션의 시각 및 햅틱 인터페이스의 충실성을 조정하면서 학습 효과를 측정함으로써 요구되는 충실도를 찾을 수 있다.

테스트베드의 구성

두 개의 스테이션으로 구성된

테스트베드는 복강경을 이용한 최소침습적 수술(laparoscopic surgery) 환경의 임무를 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 한 스테이션은 현실 공간에서 임무를 할 수 있도록 실제 물체들과 수술 도구들로 이루어져 있고, 다른 스테이션은 가상현실 공간에서 동일한 임무를 학습할 수 있도록 가상 물체들과 가상 수술 도구들로 이루어져 있다. 현실 공간 스테이션에서는 고무로 된 복부 모형 속에 있는 물체들을 투관침을 통해 삽입한 수술 도구들로 조작한다. 그리고 실제 수술 환경과 같이 복강경에서 나오는 영상을 화면을 통해 보면서 조작한다. 가상 공간 스테이션에서는 투관침을 통해 복부 모형 속으로 삽입된 수술 도구 끝에 햅틱장치를 연결한다. 가상 물체와 실제 수술 도구의 모델을 이용하여 형상화된 가상 수술 도구의 상호작용에서 나오는 햅틱 감각은 햅틱

장치를 통해서 사용자에게 전달되고 그래픽은 컴퓨터 모니터를 통해 전달된다. 이 테스트베드에서 임무와 물체를 선정할 때 가장 중요한 요인 중 하나는 그 임무와 물체가 가상 공간에서 얼마나 정확하게 재연될 수 있는지다. 시뮬레이션의 충실도에 따른 효과를 측정하는 실험이므로 높은 충실도의 시뮬레이션이 가능해야 하고, 정확한 시뮬레이션을 기준으로 차차 시뮬레이션의 충실도를 낮추며 실험을 할 수 있어야 한다. 따라서, 선정되는 임무는 기계적 특성이 잘 알려진 물체들을 사용해야 하고, 조작 중의 상호작용이 정확하게 모델화 되어야 하며 최소침습적 수술에서 필요한 동작과 유사해야 한다.

테스트베드에서의 실험 방법은 다음과 같다. 실험 대상자를 모집하고 현실 공간 스테이션에서 학습 전의 조작 능력 수준을 측정한다. 시뮬레이션의 충실도를 조절하여 그 정확성에 따라 학습 모드를 나누고 실험 대상자를 학습 모드로 나눈다. 각 학습 모드당 초기 실력 분포가 비슷하게 분포하도록 한다. 학습은 가상 공간 스테이션에서만 이루어진다. 여러 차례에 걸쳐 가상 공간에서 학습을 하고, 학습을 마치면 다시 현실 공간 스테이션에서 조작 능력을 측정한다. 그리고, 학습 전후의 실력 향상을 학습효과로 본

다. 각 학습 모드와 초기 실력을 인자로 하여 통계분석을 하면 학습 모드에 따른 학습효과의 차이를 알 수 있다. 여기서 측정하는 것은 가상 공간에서의 실력 향상이 아니라, 가상에서 현실로의 학습효과 이동이기 때문에 실험에서 나오는 결론들은 현실에서도 유효하다.

비선형 탄성의 예

이 테스트베드의 유용성을 보기 위해 비선형 탄성 모델의 예를 살펴본다. 인간의 장기와 조직은 비선형 탄성을 가지고 있다. 이 탄성을 정확하게 모델화 하기 위해서는 그 조직의 힘과 변위 사이의 관계를 생체 내에서 측정해야 한다. 이런 측정을 하기 위해 여러 가지 실험 도구들이 개발되고 있지만 매우 어렵기 때문에 동물들의 조직을 이용하는 경우가 많다. 이러한 비선형 탄성의 정확한 모델이 효과적인 수술 술기 학습을 위해 어느 정도 필요한지 알아보려고 한다. 이를 위해, 탄성 모델이 중요하게 작용하는 밀기, 잡고 끌기, 찌르기 등의 양손 동작이 많은 Heller's myotomy와 유사한 임무를 통해 실험하였다. 현실 공간 스테이션에서 비선형성이 잘 알려진 스프링을 사용하였고, 이 스프링을 가상 공간 스테이션에서 정확한 비

선형 모델, 선형 근사, 그리고 반력이 없는 모델의 세 가지 모드로 실험 하였다.

실력을 측정하기 위해서는 이 임무에 맞는 시간, 밀기 정확도, 절개 정확도 등의 측정치들과 가중치를 사용해 종합 점수를 계산하였다. 실력을 제대로 반영할 수 있는 점수 계산을 위해 전문가들의 의견을 취합해 가중치와 측정치를 정하는 단계가 중요하였다. 24명을 대상으로 실험한 결과를 보면, 정확한 비선형 탄성 모델과 선형 근사 모델의 학습효과에 차이가 없는 것으로 나왔다. 또한, 반력이 없는 모델과 있는 모델은 학습효과에 현저한 차이를 가져오는 것으로 나타났다. 따라서, 양손으로 잡고 끌기, 밀기, 절개하기 등이 있는 임무에서는 햅틱 감각이 학습에 중요하지만, 정확한 비선형 탄성 모델은 중요하지 않다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한, 가상 공간에서의 학습이 실제로 현실의 수술 실력을 향상시킬 수 있다는 중요한 결과도 나왔다.

향후 햅틱 감각에 관련된 이방성 모델, 점탄성 모델, 그래픽에서의 질감 및 조명 등의 충실도의 영향에 대한 실험을 수행하고자 한다. 시뮬레이션 충실도의 영향을 측정하는 방법과 테스트베드에 대한 연구가 의료 시뮬레이션의 발전에 중요한 역할을 할 것으로 보인다.