韓國精密工學會 2005 年度 秋季學術大會論文集

로봇을 이용한 경막외마취 훈련기의 개발

김정*(한국과학기술원 기계공학과),

Development of a VR based epidural anesthesia trainer using a robotic device

J. Kim (Mecha. Eng. Dept. KAIST)

ABSTRACT

Robotic devices have been widely used in many medical applications due to their accuracy and programming ability. One of the applications is a virtual reality medical simulator, which trains medical personnel in a computer generated environment. In this paper, we are going to present an application, an epidural anesthesia trainer. Because performing epidural injections is a delicate task, it demands a high level of skill and precision from the physician. This trainer uses a robotic device and computer controlled solenoid valve to recreate interaction forces between the needle and the various layers of tissues around the spinal cord. The robotic device is responsible for generation of interaction forces in real time and can be used to be haptic guidance that allows the user to follow a previous recorded expert procedure and feel the encountered forces.

Key Words : English Key Word: Medical robot (의료용 로봇), Epidural anesthesia(경막외 마취법), Virtual reality based medical training (가상현실기반 의료용 훈련기)

1. 서론

각종 의료 영상 기술의 발전과 로봇공학기술의 발전으로 말미암아 현재 의료 현장에서 로봇으로 대표되는 지능형 기계의 도입은 활발하게 논의되고 있으며 그 적용 영역은 수술, 진단으로부터 의료인력의 수련 등으로 넓혀지고 있다. 시기적으로 볼 때 현 시기는 1970-80 년대에 있었던 산업현장에서의 로봇의 활발한 적용기에 해당된다고 말할 수 있다. 현재 로봇을 적용한 분야 중 가장 활발하게 연구되고 있는 두 의료 분야는 단연 다빈치로 대표되는 외과 수술분야와 사용자에게 실제의 의료 시술시와 동일한 환경을 제공해서 의료인력을 훈련하는 가상현실 기반 의료용 시뮬레이션 분야이다. 의료용 시뮬레이션에 쓰이는 로봇은 햅틱 장비라고 불리우기도 하며 이는 기존의 로봇이 힘을 이용해 로봇을 이동시키는데 반해 햅틱 장비는 로봇의 이동에 대한 반응으로 미리 계산된 힘을 출력하는 형태의 로봇이다. 로봇에 의해서 생성된 힘을 느끼게 되는 피훈련자는 이를 통해서 의료 시술에서의 감각의 습득 등을 익히게 된다.

수술이나 마취 등의 의료 시술에서 촉감은 시각과 더불어 가장 중요한 정보의 통로 역할을 하고 있다. 도구를 통해 손끝에 느껴지는 감각을 통해 의사는 시술의 성공과 진행 정도를 파악할수 있으며 이는 의료인력의 숙련도를 결정 지을수 있는 가장 중요한 요인 이기도 하나 이의 습득은 장기간의 경험과 많은 시술횟수를 필요로 하다.

마취나 시침 등의 주사기를 이용한 시술의 경우 모든 작업이 전적으로 손끝에서 느껴지는 촉감에 의지해서 이루어지기 때문에 이의 반복적인 훈련은 매우 중요하다. 본 연구의 대상인 경막마취법 (Epidural anesthesia)은 산모의 고통을 경감하거나 요통환자에 대한 통증완화도구로 많이 쓰이고 있으나 특히 주사기를 통해 전해지는 촉감의 형태가 매우 복잡하고 미세해서 숙련의가 되기 위해서는 많은 시술횟수가 필요하다. 그러나 최근까지도 미숙련의에 대한 수련은 숙련자가 시범을 보이고 수련의가 동물이나 실제 환자를 대상으로 이를 따라하는 방식으로 진행되어 왔으나 이는 윤리적인 문제뿐만

아니라 기술의 객관적인 평가 등에 많은 문제를 나타내고 있다. 이에 대한 대안으로 가상현실 공간에서 실제 시술과 유사한 형태의 촉감을 재생하여 훈련하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 촉감의 재생하는 로봇과 시각적인 훈련을 재생하는 시각표시장치, 그리고 마네킹등으로 구성된 경막외 마취 훈련기에 대한 내용을 소개하고 있다.

2. 경막외 마취법 훈련기

2.1 경막외 마취법

Figure 1 은 경막외 마취가 이루어지는 척수부의 간략한 구조를 보여주고 있다. 인체의 신경이 통과하는 척수부를 여러 개의 근육막이 감싸고 있는 구조로 되어 있으며 바깥쪽으로부터 Skin, Supraspinous ligament, Interspinous ligament , Ligamnentum flavum, 그리고 dura meter 로 구성되어 있다.. 이중 경막(Dura mater)의 바깥쪽에 위치한 2mm 의 공간을 epidural space(경막 외강)으로 불리며 이 공간에 국소 마취제가 주입된다. 시술자는 주사가 각 근육막을 통과할때마다 각기 다른 촉감을 느끼게 되는데 이 감각의 습득이 매우 중요하다. 경막외강은 약간의 음압이 걸려있는 빈공간이므로 주사바늘이 이 지점에 이르면 갑자기 주사기에 느껴지는 저항이 급격이 감소하게 되는데 이 신호가 주사기가 경막공간에 위치했음을 알려주는 중요한 신호로 “loss of resistance” 라고 일컬어진다. 경막 외강의 넓이가 아주 작으므로 이 지점에 정확하게 마취제를 투입하는 것이 매우 어려운데 마취제가 경막외강에 이르기 전에 주입될경우 목적하는 마취제의 역할을 얻을 수 없으며 주사 바늘이 경막을 통과하게 될 경우 환자에게 극심한 통증을 유발하고 감염의 우려가 발생한다. 따라서 이 시술방법을 훈련하기 위해서는 훈련기는 각 근육막을 통과할 때의 촉감과 주사끝이 경막외강에 이르렀을 때 압력이 감소하는 현상을 모사할수 있어야한다.

2.2 힘 렌더링

본 훈련기에서 가장 중요한 부분은 주사기가 각 근육막을 통과하면서 발생하는 힘의 계산이다. 주사기의 위치에 따라 해당 근육막의 모델로부터 반력이 계산되고 이 계산된 힘은 로봇을 통해서 피훈련자에게 전달된다. 골조직을 포함한 각 근육막은 점탄성 (Viscoelastic)모델의 하나인 Voigt element 를 이용해서 모델링을 했으며 각각의 근육막의 기계적 성질에 따라 각기 다른 변수를 선정하였다. 즉 여러 개의 다른 Voigt model 이 직렬로 연결된 것이다. 주사기의 위치에 따라 훈련기는 자동으로 현재 근육막의 모델로 바뀌어서 주사기가 척수를 향해 전진 후퇴할 때마다 해당 근육막의 기계적 모델을 적용한다. Figure 2 는 각 근육막에 대한 힘-변위를 plot 한 것으로 근육막을 통과할때마다 급격한 힘의 강하가 있으며 사용자로 하여금 탄성막을 관통하는듯한 느낌을 만들어 낼 수 있다.

각 근육막의 매개변수를 직접 실험을 통하여 알기는 매우 어려우며 그에 대한 물성 데이터 또한 희귀하다. 이를 극복하기 위해서 해당 분야의 전문가를 초청하여 시연하도록 한 후 여러 번의 시행착오를 거쳐 가장 유사한 형태의 느낌이 나오도록 각 근육막의 모델의 매개 변수를 직접 조정하여 변수를 선정하는 접근방식을 사용했다.

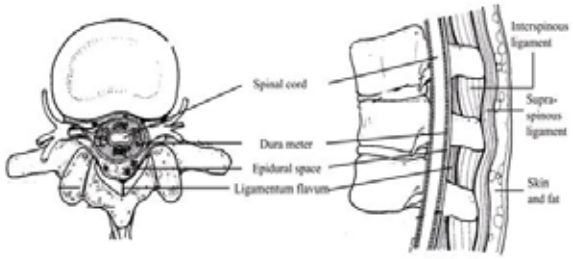

Fig. 1 Anatomy of human spinal cord and vertebra

2.3 Loss of resistance

바늘 끝이 경막 외강에 도달했는지를 알려주는 중요한 신호는 전술했듯이 바늘을 통해서 느껴지는 저항의 급격한 감소이며 이는 매우 짧은 시간에 나타나므로 이의 자각을 위한 훈련은 매우 중요하다. 이런 효과를 훈련기에서 구현하기 위해 위해 컴퓨터로 제어되는 2-way 솔레노이드 밸브를 주사기에 연결시켰다. 주사기 끝이 다른 근육막을 통과할 때는 밸브를 닫아 주사기의 압력을 유지하고 주사기 끝이 경막 외강에 도달했을 경우 밸브를 개방해서 Loss of resistance 의 효과를 낸다. Figure 3 은 간단한 밸브시스템의 개념도이다.

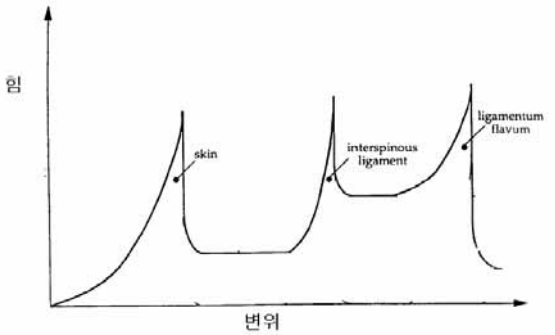

Fig 2 Modeled profile of forces between tissues and needle based on viscoelastic model.

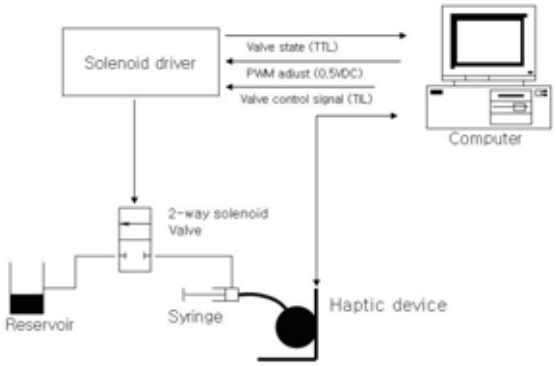

Fig. 3 Conceptual diagram for simulating loss of resistance during epidural anesthesia

2.4 시스템 통합

Figure 4 에는 개발된 경막외 마취법 훈련기의 시작품의 사진이다. 실시간으로 계산된 촉감을 재현하는 로봇으로는 SenSable 사의 PHAMToM 을 사용했다. PHANToM 은 3 자유도의 힘 재생과 6 자유도의 위치 재생능력을 가진다. 3 차원 실시간 그래픽과 사용자 인터페이스는 TGS 사의 Open Inventor 로 개발되었다. 인체 상부의 마네킨 안에 로봇을 설치하였으며 로봇의 끝단에는 실제 시술시에 사용되는 주사기를 연결 사실성을 높였다. 피훈련자는 주사기 끝으로부터 전달되는 반력을 느끼게 되며 시각장치를 통해 바늘의 위치등을 계속 모니터링하면서 기술을 습득하게 된다. 시각표시 장치에는 시술자가 실제 시술시 참고로 하는 fluoroscopy 화면이며 시술부위와 상대적인 바늘의 위치와 각도 등을 사용자에 보여준다. 이들을 이용해서 피 훈련자는 실제와 유사한 환경에서 시술훈련을 받을수 있다.

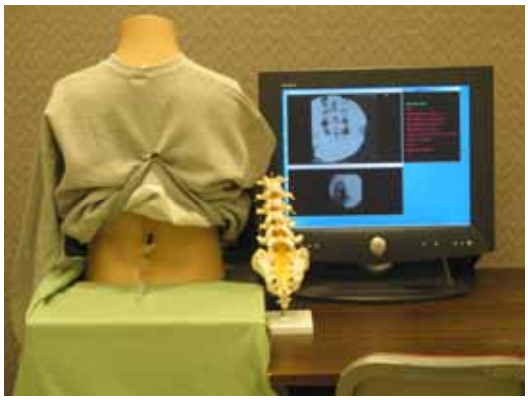

Figure 4. VR based Epidural anesthesia trainer. The robotic device is inside of human mannequin and it is connected with the syringes

2.5 사용자 인터페이스

훈련기는 Figure 4 와 같은 실제와 유사한 형태의 사용자 인터페이스를 제공할 수 있으며 훈련 과정에서 좀더 직관적인 형태의 사용자 인터페이스를 제공할수 있다. Figure 5 에서 보듯이 실제 4,5 번 경추의 3 차원 모델과 주사기 끝을 사용자에게 보여줌으로 사용자에게 어떤식으로 척수에 접근하는지를 시각적으로 보여줄수 있으며 현재 근육막을 명시함으로 피훈련자는 어떤 근육막으로부터 어떤 형태의 반력을 생성하는지에 대한 정보를 알 수 있다.

본 훈련기는 또한 미리 저장된 전문가의 동작을 저장하고 이를 훈련시에 기준으로 제공할 수 있는 이른바 Haptic guidance 가 가능하다. 이를 통해서 피훈련자는 전문가의 시술 방법을 체험할 수 있고 자신의 시술 방법과의 차이 등을 분석함으로 기술을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

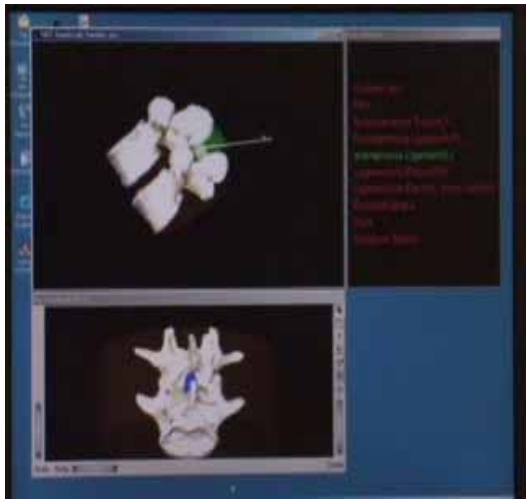

Figure 5 Graphical User Interface for epidural trainer.

3. 결론

본 논문은 출산시의 산모의 고통을 경감하기 위해 많이 시술되고 있는 경막외 마취법(Epidural anesthesia)을 가상공간에서 훈련할 수 있는 훈련기 개발에 대한 내용을 서술하고 있다. 본 훈련기는 1KH 로 촉각을 재생하는 로봇과 컴퓨터로 제어되는 솔레노이드 밸브를 이용해서 실제 경막외 마취 시술에서 느껴지는 주사기에서 느껴지는 반력과 유사한 형태의 반력을 실시간으로 주사기의 움직임에 따라 피훈련자에게 재생하는 시스템이다. 본 훈련기를 사용함으로 인해서 미숙련자의 시술능력을 향

상시킬 뿐만 아니라 경험 많은 시술자의 시범을 그대로 재현할 수 있는 장점이 있다.

본 훈련기가 실제 의료 교육용으로 사용되기 위해서는 여러가지 기술의 난제가 해결되어야 한다. 그 중 현재까지 가장 시급한 사항은 저가의 전용 햅틱 장비의 개발과 실제 시술에서의 발생하는 주사기와 생체 근육막 사이의 반력을 기록 저장할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 실제 시술 시에 느껴지는 반력에 대한 데이터를 확보할 경우 더욱 실제와 가까운 생체 반응을 전달하여 훈련효과를 높일 수 있다.

참고문헌

1. Dang, T. and Srinivasan M.A., "Development and Evaluation of an Epidural Injection Simulator with Force Feedback for Medical Training," Proceedings of the Medicine Meets Virtual Reality(MMVR), pp. 97-102, 2001