

## 로봇수술의 현재와 미래

김 영 수

한양대학교 의과대학 신경외과교실

### ▶ 의료용 로봇이란?

의료용 로봇은 일반적인 지능형 로봇과는 그 궤를 달리하고 있다. 지능형 로봇은 주위의 상황을 인식하여 스스로 어떠한 행동을 할 것인지 판단하여 행동하는데 반해, 의료용 로봇은 자체적인 판단의 범위가 아주 제한적이며, 의사에게 적절한 정보제공 및 수술을 보조하는 기능을 맡기 때문이다.

로봇이 수술에 이용되는 목적으로는 수술로 인한 신체 손상을 최소화하고 수술시간을 단축해 마취에 대한 환자의 노출을 줄이며, 수술 중 출혈 및 수혈 최소화, 수술 후 환자의 통증이나 불편함 해소, 상처 감염의 노출 기회를 줄여 퇴원을 앞당김으로서 최대한 빠른 시간 내에 사회활동으로 복귀시키고자 하는데 있다. 이는 환자가 수술에 대한 두려움을 줄일 수 있도록하는 데에도 도움을 주어 치료에 적극 협조할 수 있다는 측면에서도 의료용 로봇은 상당히 효과적인 역할을 한다.

집도의의 측면에서는 로봇 수술시 환부를 정확하게 제거할 수 있도록 도우며 미세하고 정교한 수술을 대신해 눈으로 볼 수 없는 부위의 수술도 가능하게 하여 의사의 피로도 줄이고 환자에게 덜 피해를 주면서 수술 효과를 극대화 시킬 수 있다. 또한 경험이 없는 의사도 로봇을 이용하면 경험 많은 의사의 도움을 받아 수술을 무사히 마칠 수 있도록 로봇이 도울 수도 있다. 이러한 수술로봇의 발달은 현재의 외과의들의 수술 패러다임을 바꾸는 효과를 가져 올 것이다.

의료용 로봇의 개념은 시스템이다. 즉, 로봇 단독으로 수술을 하는 것이 아니라, 의사에게 다양한 정보를 제공하고 의사의 지시에 따라 작동하며, 이를 위해서는 시스템의 구성이 필요하다는 것이다. 이러한 개념 중 하나는 미국 존스 홉킨스대학교의 Russel Taylor 교수에 의해 제안된 개념으로서 다음과 같다. 수술 전환자의 영상 및 다양한 정보를 입력하여 기존의 데이터 베이스 자료를 중심으로 환자에 적합한 수술 계획을 세운다. 이렇게 가공된 데이터는 수술실의 로봇으로 옮겨지며, 수술실에서는 환자의 환부를 로봇에 내장된 데이터와 일치화 작업을 거친다. 이후 의사의 확인에 따라 지시대로 로봇을 이용하여 수술을 하고, 수술 중 환부의 변화에 따른 정보는 실시간으로 로봇에 입력되고, 재가공하여 의사의 판단에 따라 수술을 진행한다. 수술시 습득된 다양한 정보는 보관되고 수술 후에 검증 작업을 통하여 전반적인 검토를 시행하고 이를 다시 다음 수술에 이용할 수 있는 데이터로 가공한다.

### ▶ 의료용 로봇 기술 개발 동향

의료용 로봇의 연구개발 분야는 크게 네 가지 분야로 나뉜다. 수술실에서 집도의사의 명령에 따라 수술을 보조하는 수술보조로봇, 의사를 대신하여 수술과정의 전체 혹은 일부를 의사를 대신하거나 의사와 함께 수술작업을 하는 수술로봇, MRI나 CT 등의 의료영상과 햅틱장치 등을 이용한 수술 시뮬레이터, 장애인 또는 노년층의 독립적인 활동을 가능하게 해주는 재활로봇 분야가 있다.

의료용 로봇의 개발은 미국, 독일, 일본 등의 선진국을 중심으로 연구되어 오다가 그 실현 가능성과 상업적 가치가 검증되면서 최근 들어 국내에서도 점차 확대되고 있다. 의료용 로봇에 대한 현재의 개발 수준은 초기 단계지만, 특정 분야에서는 이미 상용화되었거나, 실용화를 위한 임상 평가 단계에 이르고 있다.

수술보조로봇으로서 대표적인 것은 AESOP (미국, Computer Motion 社), EndoAssist (영국, Armstrong Healthcare 社), Makoplasty (미국, Mako Surgical Corp.), 그리고 개발 중인 ROBOSCOPE (영국, Imperial College) 등이 있다.



AESOP  
(미국, Computer Motion 社)

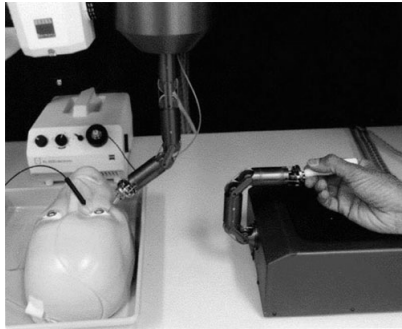


EndoAssist  
(영국, Armstrong Healthcare 社)



Makoplasty (미국, Mako Surgical Corp.)

원격 수술 로봇으로서 대표적인 것은 RAMS (미국, NASA JPL), ZEUS (미국, Computer Motion 社), DaVinci (미국, Intuitive Surgical Systems 社) 그리고 Neuromate (영국, Renishaw 社) 등이 있으며, 각국의 대학에서 원격수술 로봇 시스템의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.



RAMS (미국, NASA JPL)



ZEUS (미국, Computer Motion 社)



da Vinci (미국, Intuitive Surgical Systems 社)



Neuromate  
(영국, Renishaw 社)

세계적으로 로봇에 의한 집도혁명이 일어나고 있는 가운데 국내에서도 이러한 수술 로봇 시스템을 도입하여 시술하고 있는 병원들이 많이 있다. 서울아산병원에서 임성인식 로봇 시스템으로 심장 수술을 하였고, 이춘택 병원에서는 세계 최초로 ROBODOC [한국, (주)큐렉소]를 이용한 로봇 인공관절 재수술에 성공하였다. 기존의 의료 환경을 개선하고 국민 의료복지 증진에 기여하면서 의료로봇 시장을 확보할 수 있는 우수한 의료전문가와 로봇 관련 전문가의 적극적인 상호협력이 요구된다.

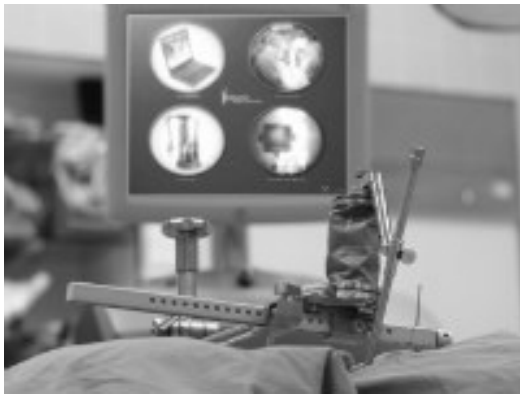
이들 시스템 중 수술에 사용되는 로봇으로 가장 대표되는 시스템이 ZEUS와 DaVinci 시스템이다. ZEUS는 자동 내시경 제어 시스템(AEOP)를 사용한다. AESOP이란 의사의 수술영역과 시각 사이에 존재하는 간격을 제거시켜주는 장치로서, 지시 명령에 따라 의사가 원하는 장소에 정확하게 복강경 카



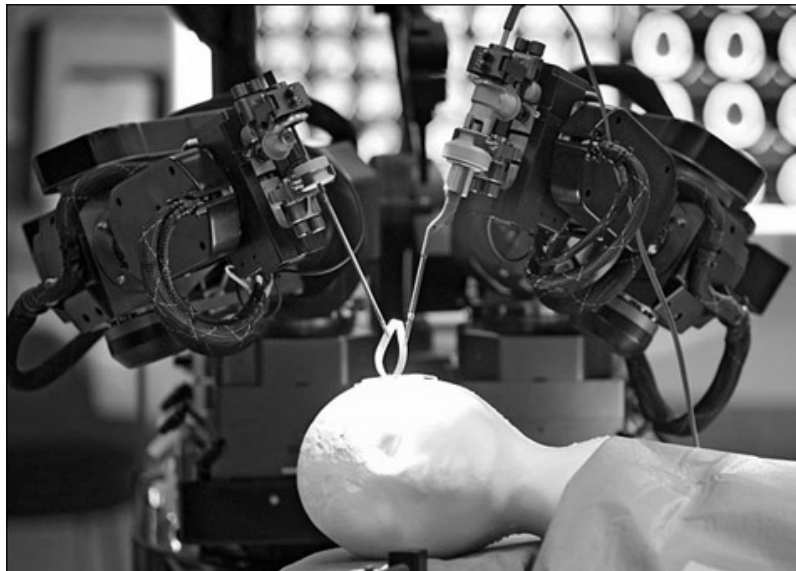
ROBODOC [한국, (주) 큐렉소]

메라를 움직여 주는 역할을 수행한다. ZEUS는 유럽에서 널리 사용되고 있는데, 미국 FDA가 이 시스템을 외과수술 보조기기로 승인하였다. da Vinci는 2개의 독립된 모니터가 설치된 콘솔(console)에 외과위가 앉아 로봇을 조종하여 수술을 수행한다. 지금까지 DaVinci를 이용하여 10,000건 이상의 수술이 실시되었는데, 일반 외과, 비뇨기과, 흉부외과, 심혈관외과, 산부인과, 혈관외과 등에 널리 사용되었다. 따라서 이 로봇을 사용할 수 있는 범위는 간단한 담낭 제거 수술부터 아주 복잡한 승모관 수술까지 그 범위가 방대하다.

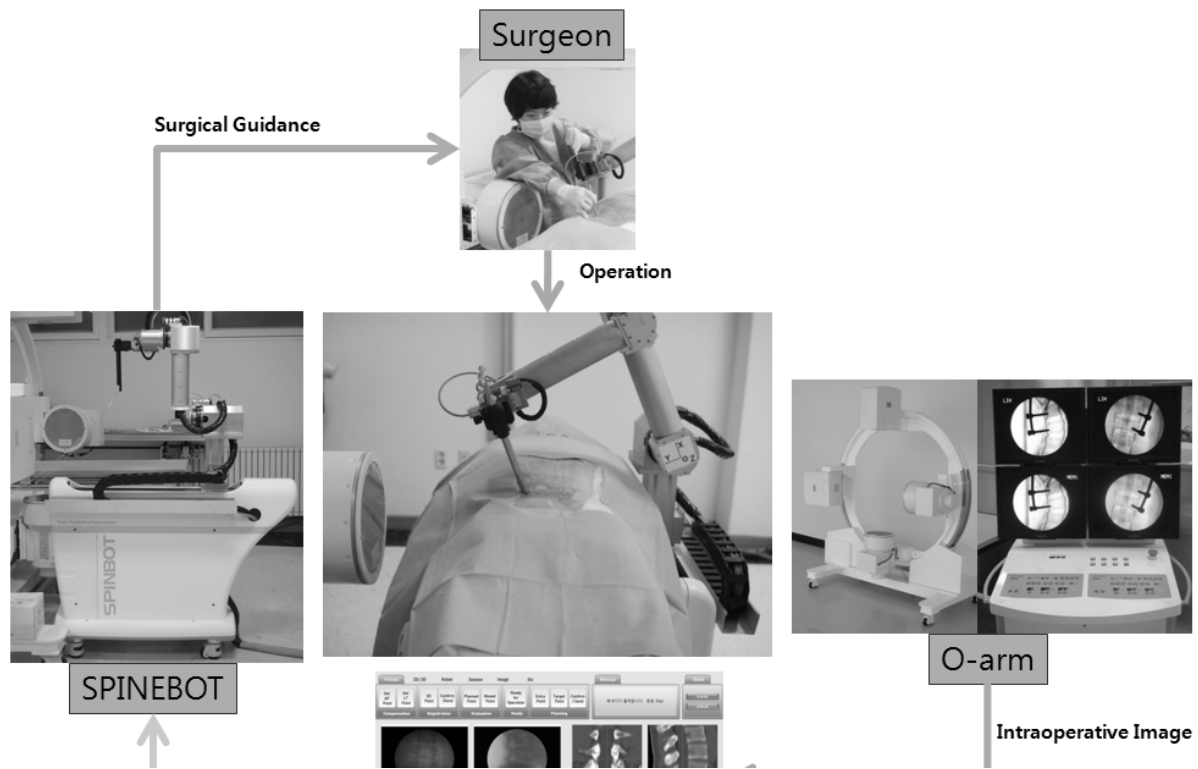
신경외과 영역의 수술로봇은 위에 설명한 Neuromate 외에 이스라엘 Mazor사에서 개발한 Spineassist가 유럽에서 시판 중이며, 캐나다 Surtherland 교수가 MR-compatible Neuroarm을 개발하였다. 또한 저자가 개발한 양방향 방사선 투시기 수술 로봇은 Neurosurgery에 2010년도 12월에 등재되어 기술력을 인정 받았다.



Mazor사의 Spineassist



Neuroarm



양방향 방사선 투시기를 이용한 수술로봇 시스템

### ▶ 미래 의료용 로봇의 방향

로봇과 의사 그리고 수술실 내의 다른 장비와의 공간내 배치 및 편의성과 안정성을 고려하여 로봇의 소형화 및 정밀화가 진행 중이다. 또한 최근 수술실 내에 MRI 이용이 증가되어 자기장 내에서도 작동하는 로봇의 개발도 진행 중이다.

소형 로봇으로 내시경을 대신하는 캡슐형 로봇보다 소형화하여 혈관 내에 주사한 후 스스로 이동하여 병변에서 활동할 수 있는 마이크로 로봇의 개발에도 많은 노력을 하고 있다.

이러한 로봇의 개발 사업은 대체적으로 하드웨어 분야에서는 일본이 경쟁력이 높으며, 소프트웨어 분야에서는 미국이 앞서 나가고 있다. 독일은 하드웨어 및 소프트웨어 분야에서 동식에 상당한 연구개발 능력을 보유하고 있다. 앞으로는 이 세 나라가 의료용 로봇시장의 핵심 주자로 나설 것으로 예상된다. 그에 비해 국내에서는 활발한 연구가 진행되기 어려운 실정이다. 의료용 로봇의 개발비가 많이 드는데 비해 국내 시장은 극히 제한적이어서 일반기업의 참여가 아주 저조하다. 따라서 국제 의료시장을 겨냥한 적극적인 개발의지를 보이는 기업의 출현과 국가적 차원에서 연구지원이 국내의료용 로봇의 연구 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

### ● 바이오로봇 기술

**인공장기의 개발:** 인공장기 개발은 바이오와 기계·시스템공학의 결합을 통한 바이오로봇 기술의 개가 이다. 바이오로봇은 인간, 곤충 등 생체모방이나 수술보조, 재활서비스, 진단 검사 등 의료 및 생명분야에서의 이용을 목적으로 하는 로봇이다. 또 연골, 뼈 재생 등 조직공학을 활용한 바이오로봇 시스템도 포함된다.

맞춤형 인공신장 경우 환자의 신장세포를 채취, 신장모양의 뼈대에서 배양되고 있는 신장 세포에 영양분을 공급해 완전히 장기 형태를 갖추면 환자에게 이식하는 것이다.

현재 인공심장, 인공방광, 인공망막 등이 개발돼 있지만, 인체거부 반응을 줄여야하는 기술적 과제와 상용화까지는 시간이 좀 더 필요하다.

**사이보그형 바이오로봇:** 미국 매사추세츠에 거주하는 척수마비 20대 청년 매튜 네이글은 1999년 칼에 찔려 척수가 절단되는 사고를 당해 전신이 마비됐다. 2005년에 로드아일랜드 병원에서 뇌 컴퓨터 인터페이스(BCI: Brain Computer Interface) 전문기업 Cyberkinematics Neurotechnology Systems 社가 개발한 신경 인터페이스 시스템 ‘브레인 게이트(Brain Gate)’를 이식받아 손발을 움직일 수 있게 됐다.

이 시스템은 100개의 마이크로미터 단위 미소 전극을 포함한 4 mm 정도의 알약 크기 센서로 이루어져 있다. 뇌에서 운동기능을 명령하는 운동피질 표면에 이식돼 환자의 의지를 전송신호로 받아 컴퓨터에 연결, 원하는 동작을 이끌어 낸다. 매튜 네이글은 ‘허리를 펴라 굽혀라’, ‘두손을 벌려라, 모아라’ 등 16가지 동작을 상상만으로 취할 수 있다.

‘인공근육(Artificial Muscles)’를 이용한 로봇 팔도 개발됐다. NASA의 제트추진 연구소(JPL)는 적은 양의 전기에 재빠르게 반응해 인체 근육처럼 늘었다 줄어드는 인공근육을 개발, 구동장치가 없는 로봇에 적용했다. 팔과 다리가 절단된 장애인에게 인공근육이 이식되는 날이 올 것이다.

### ● 나노로봇 기술

미국 카네기 멜론대의 카메론 리비에어 교수 연구팀은 21세기판 ‘약용 거머리’라고 부를 수 있는 로봇 장치를 개발하고 있다. 애벌레를 닮은 이 로봇 장치는 조만간 심장병 환자의 가슴 속에서 뛰고 있는 심장의 표면을 기어다니며, 큰 수술을 시행할 필요없이 치료를 수행할 것이다.

하트랜더(Heart Lander)라고 불리는 이 로봇 장치는 최소 침습 수술(Keyhole Surgery)을 통해 삽입될 수 있다. 일단 내부에 위치하게 되면 하트랜더는 심장 외부 표면을 기어다니기 시작하면서 약을 주사하거나 치료 장치를 부착한다.

살아있는 돼지에 수행한 시험에서 하트랜더는 페이스메이커를 설치하고 염료를 심장에 주사한 바 있다.

### ● 유럽연합의 캡슐형 로봇

유럽연합의 연구자들은 암 탐색 목적으로 입으로 삼켜 몸속을 이동해 다니는 캡슐형 로봇을 개발하고 있다. 알약 크기의 이 캡슐형 로봇은 시험을 통해 신체 내부의 종양을 찾고 그 결과를 즉시 컴퓨터로 전송할 수 있게 된다.

이 캡슐형 로봇은 장 전체에 대해 40,000여장의 이미지를 포착할 수 있는 초소형 비디오 카메라를 갖추게 된다. 이 카메라 이미지는 즉시 개인용 컴퓨터로 전송되기 때문에 이 로봇을 회수할 필요가 없다. 로봇은 자연스러운 생리 작용을 통해 화장실에서 배출된다.

유럽연합으로 부터 약 180만 파운드(약 33억원)의 자금을 지원 받는 이 새로운 캡슐형 로봇은 캡슐형 내시경인 필캠의 카메라 기술에 기초하고 있다. 이 로봇은 단순히 사진을 찍은 기능을 넘어 위와 장 내부에서 건강한 정상 조직과 암 조직을 구별해내기 위한 시험을 수행하게 될 것이다. 시험 결과는 의사에게 전송되며, 많은 경우 수술이 불필요해질 것이다.

### ● 일본의 마이크로 체내 로봇

일본 리츠메이칸대와 사가의대의 연구자들도 미소한 절개부를 통해 일단 몸속에 삽입되면 의학적 치료를 수행하고 병에 걸린 부위에 대한 이미지를 촬영할 수 있도록 자유롭게 제어될 수 있는 마이크로 체내 로봇 시작품을 완성하여 지난 2007년 2월 26일에 공개했다. 플라스틱 케이스를 가진 이 마이크로 체내 로봇은 길이가 2cm이고 지름이 1cm인 원통형 형상을 하고 있다. 몸속에 있는 마이크로 체내 로봇은 환자 근처에서 외부 자기장을 인가하여 제어될 수 있다.

연구자들은 이미지 촬영 기능, 약 전달 시스템, 조직 표본을 채취하기 위한 소형 핀셋 등의 특징을 갖춘 서로 다른 5가지 시작품들을 개발하고 있다. 사전에 환자에 대해 촬영한 자기공명영상(MRI)은 마이크로 체내 로봇을 주행하기 위한 지도로 사용되고 인체 내부에서 각종 검사 및 치료를 수행할 수 있는 소형 로봇들은 절개나 내시경에 따르는 고통 없이 위와 장에 대한 암 검사를 손쉽게 시행할 수 있어 암의 조기 진단을 가능하게 한다.

### ▶ 마치며

1980년대를 기점으로 컴퓨터 기술의 발달에 따른 의학영상 분야의 눈부신 발전과 1990년대를 기점으로 경쟁적으로 도입된 미세 침습수술로 인하여 정밀한 수술에 대한 요구가 폭발적으로 증가하였다. 특히 미세 침습수술은 환자에게 가능한 한 적은 손상을 가하며, 빠른 시간 내에 최대한의 치료 효과를 얻으며, 수술 후 합병증을 최소화하기 때문에 전 외과영역에 빠르게 도입되었다. 이러한 이유로 인간의 한계를 넘을 수 있는 기술적 수술 분야에 대하여 로봇의 사용이 요구 되었다.

컴퓨터의 발달은 로봇 기술을 급속히 발전시켰으며, 여러 목적의 로봇이 개발되었고 현재 산업에 많이 이용된다. 하지만 최근의 연구는 의료용 로봇분야에서 많은 업적이 발표되고 있으며, 향후 추이가 주목되고 있다. 여전히, 현재의 체계로서는 향상시켜야 할 부분들이 많지만, 사람으로서는 불가능한 일들을 수행할 수 있는 의료로봇이 꾸준히 나오고 있다는 점에서는 매우 고무적이라 할 수 있다.

세포적 임무를 수행할 수 있는 판단과 학습이 가능한 수술로봇은 아직은 요원할지 모른다. 하지만 세계의 많은 대학과 연구소에서 연구되고 있는 의료로봇들은 외과의가 기존 수술식으로는 하기 힘든 수술들을

가능하게 하는 로봇부터 세포적 임무까지 수행할 수 있는 바이오 로봇에까지 그 범위가 다양하다. 따라서 향후 10-20년 후에는 매크로로봇에서 마이크로 로봇에 이르기까지 수술방에서 다양한 역할을 하는 의료로봇을 보게 될 수 있을 것이다.