

임상 수술 분야에서의 로봇의 역할

김영수 · 김형욱 (한양대학교)

I. 서론

최근 들어 세계적으로 각국이 융합 기술 개발을 정책적으로 추진하고 있는 추세이다. IT분야와 BT분야의 융합기술의 하나인 수술용 로봇은 그 대표적 신기술이라고 할 수 있다. 저자는 신경외과 외과 수술의사로서, 본 투고에서는 의료용 로봇의 전문 기술 분야를 소개하기 보다는 의사의 입장에서 수술 로봇의 현황과 문제점, 그리고 미래와 그 발전 방향에 관하여 알아보도록 한다.

의학의 발달과 동반된 과학 기술의 발달인류는 행복을 추구한다. 행복의 여러 가지 조건중에서 가장 중요한 것은 건강으로서, 건강의 적인 질병에 대한 치료를 담당해온 의학은 인간의 삶에 큰 비중을 차지한다. 과거로부터 의학은 질병의 원인을 찾고 병태 생리를 이해하며 질병을 진단하고 치료하는 방향으로 발달해 왔다. 질병의 치료는 약물 치료와 더불어 수술 치료가 병행되어 왔다.

진단은 치료에 선행되는 중요한 과정으로, 정확한 진단이 가능해야 적절한 치료도 가능해진다. 19세기말에 발명된 X-ray검사 기술은 진단 방법에서의 중요한 역사적인 사건으로, 이후에 X-ray를 이용한 다양한 진단이 이루어져 왔다. 한편, 광학기술의 발달은 눈으로 볼 수 없던 미세 세계를 관찰할 수 있는 현미경의 발견으로 이어졌고, 또한 디지털 혁명은 1980년대에 컴퓨터를 이용한 단층촬영을 가능하게 하였다. 또한, 컴퓨터 그래픽 기술의 발달에 따른 3차원 정보 표현 기술은 의학 분야에 삼차원 의료 영상을 제공하게 되어 놀라운 진단 기술의 발달을 야기하였다.

수술 치료 분야에서는 소독 개념과 마취의 등장으로 외과 의사가 자유롭게 수술할 수 있게 하여 치료 결과를 향상시켰다. 신경외과 분야에서는 뇌 깊은 곳의 수술을 보다 간단하게

할 수 있는 영상유도 정위수술(Image-guided Stereotactic Surgery)이 가능하게 되었다. 또한, 정밀 의료 기기의 발달로, 많은 정상부위를 손상시켰던 종래의 수술에 비하여 정상부위 손상을 최소화하는 미세침습수술(Minimally Invasive Surgery)이 20세기 말에 등장하였다. 이 시술로 환자의 입원기간이 줄고 수혈 및 수술 후유증을 최소화함으로써, 환자가 일찍 사회로 복귀하여 경제활동을 시작할 수 있게 되었다. 즉, 경제적으로도 이익이며 고통이 최소화되어 행복한 삶을 일찍 찾아 줄 수 있게 되었다. 하지만, 이런 미세침습수술법을 다양한 수술 분야에 적용하기에는 여러 가지 어려운 점이 있었다.

미세침습수술은 의사가 손으로 직접 신체 내부의 환부와 접촉해가며 수술하는 것이 아니라, 가늘고 긴 원통형의 수술 기구를 몸 밖에서 조작하면 수술기구의 말단 부분에 장착된 작은 수술도구가 몸 안의 환부를 절제하고 봉합한다. 즉, 긴 젓가락을 들고 수술하는 방식이기 때문에 실제로 수술하는 의사는 수술도구의 조작에 익숙해지기 위하여 많은 수련 기간을 거쳐야 하며, 적용할 수 있는 수술 분야가 제한적이다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 로봇공학기술이 도입되어 수술용 로봇이 등장하게 되었고 앞에서 기술한 제한점들을 상당 부분 극복하게 되었다. 즉, 시술자는 주(master)로봇을 통하여 종(slave)로봇을 원격으로 조작하여 미세한 시술을 하게 되었다. 또한, 수술 전에 촬영한 영상을 기반으로 수술계획을 면밀하게 할 수 있게 되었고, 로봇은 수술 시 실수를 줄이며, 계획된 수기대로 수술을 가능하게 도와줌으로서 미세침습수술의 효과를 최대화 해준다. 결과적으로, 수술용 로봇을 이용한 수술은 의사뿐만 아니라 환자에게도 만족스럽고 신뢰성있는 결과를 제공해주며, 수술 전에 환자로 하여금 안심하고 수술을 받아들이게 함으로서 종래의 방법으로는 수술이 어려운 환자에게도 적절한 수술 기회를 제공하게 된다.

또한, 진단기술의 발달과 정기검진의 확대로 조기 진단이 가능하게 됨에 따라 특히 종양을 조기에 발견하게 되면 미세침습수술로 조기에 완치가 가능해진다.

이처럼 의학의 발전은 과학의 발전과 더불어 이루어져 왔으며, 의사들이 질병을 연구하고 보다 나은 치료법을 지속적으로 연구하고 있으므로, 수술용 로봇의 이용은 다양한 부위로 확대될 것이고 또한 보다 많은 수술에 적용될 것이다.

II. 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 정보 제공 및 수술을 보조하는 기능을 맡기 때문이다.

의료용 로봇의 개념은 시스템이다. 즉, 로봇이 단독으로 수술을 하는 것이 아니라 의사에게 다양한 정보를 제공하고 의사의 지시에 따라 움직여야 하기 때문에, 이를 위해서는 다양한 기술 요소가 포함된 시스템의 구성이 필요하다는 의미이다. 이는 미국 존스홉킨스대학교의 Russel Taylor교수에 의해 제안된 개념으로서 다음과 같이 간략히 설명할 수 있다^[1]. 먼저, 수술 전에 획득한 환자의 환부 영상 및 기존의 데이터베이스 자료를 기반으로 환자에 적합한 수술계획을 세운다. 이렇게 가공된 데이터는 수술실의 로봇시스템으로 옮겨지며, 수술실에서는 환자의 환부를 로봇에 내장된 데이터와 일치화하는 작업을 거친다. 이후 의사의 확인 및 지시대로 로봇을 이용하여 수술이 이루어지고, 수술 중 환부의 변화등과 같은 실시간 정보는 재가공되어 의사에게 제공되어 보다 정확하고 효율적인 수술이 가능하도록 한다. 수술중에 저장된 다양한 정보는 수술 후의 검토 작업을 통하여 다음 수술에 이용할 수 있는 데이터베이스로 저장된다.

수술에 로봇을 이용하는 목적으로는, 수술로 인한 신체 손상을 최소화하고 수술 시간을 단축해 마취에 대한 환자의 노출을 줄이며, 수술 중 출혈 및 수혈의 최소화, 수술 후 환자의 통증이나 불편함 해소, 상처 감염을 줄여 퇴원을 앞당김으로서 최대한 빠른 시간 내에 사회활동으로 복귀시키고자 하는데 있다. 이는 환자가 수술에 대한 두려움을 줄일 수 있도록 하는 데에도 도움을 주어 치료에 적극 협조할 수 있다는 측면에서도 의료용 로봇은 매우 효과적인 역할을 한다.

집도위의 측면에서는 로봇 수술시 환부를 정확하게 제거할 수 있도록 도우며 미세하고 정교한 수술을 대신해 눈으로 직접 확인하기 어려운 부위의 수술도 가능하게 하며, 수술시간을 단축함에 따른 의사 피로도를 줄이고 환자에게 피해를

적게 주면서 수술효과를 극대화 시킬 수 있다. 또한, 경험이 없는 의사도 경험이 많은 의사의 도움을 받는 것과 유사한 환경에서 수술을 무사히 마칠 수 있도록 로봇이 도울 수도 있다. 이러한 수술로봇의 발달은 현재의 외과의들의 수술 패러다임을 바꾸는 효과를 가져 올 것이다.

III. 의료용 로봇 기술개발 동향

의료용 로봇시스템의 연구개발 분야는 크게 네 가지로 나눌 수 있다. 수술실에서 집도의사의 명령에 따라 수술을 보조하는 수술 보조 로봇, 의사를 대신하여 수술과정의 전체 혹은 일부를 의사를 대신하거나 의사와 함께 수술 작업을 하는 수술 로봇, MRI나 CT등의 의료영상과 햅틱장치 등을 이용한 수술 시뮬레이터, 장애인 또는 노년층의 독립적인 활동을 가능하게 해주는 재활 로봇 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 임상평가단계에 이르고 있다.

수술 보조 로봇으로서 대표적인 것은 AESOP (미국, Computer Motion社), EndoAssist (미국, Armstrong Healthcare社), Makoplasty (미국, Mako Surgical社), ROSA (독일, Medtech社), 그리고 개발이 진행중인 ROBOSCOPE (영국, Imperial College)등이 있다(그림 1)).

원격 수술 로봇으로서 대표적인 것은 RAMS (미국, NASA JPL), ZEUS (미국, Computer Motion社), Da Vinci (미국, Intuitive Surgical Systems社), 그리고 Neuromate (영국, Renishaw社)등이 있으며(그림 2)), 각국의 대학에서 원격수술 로봇 시스템의 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

이중에서 대표적으로 수술에 사용되는 로봇시스템은 ZEUS와 Da Vinci시스템이다. ZEUS는 자동 내시경 제어 시스템(AEOP)를 사용한다. AEOP란 의사의 수술 영역과 시각 사이에 존재하는 간격을 제거시켜 주는 장치로서, 지시 명령에 따라 의사가 원하는 장소에 정확하게 복강경 카메라를 움직여주는 역할을 수행한다. ZEUS는 유럽에서 널리 사용되고 있는데 미국 FDA가 이 시스템을 외과수술 보조기기로 승인하였다. Da Vinci는 2개의 독립된 모니터가 설치된 콘솔(console)에 외과의사가 앉아 로봇을 조종하여 수술을 수행한다. 지금까지 Da Vinci를 이용하여 10,000건 이상의 수술이 실시되었는데, 일반외과, 비뇨기과, 흉부외과, 심혈관외과, 산부인과, 혈관외과 등에 널리 사용되고 있으며, 간단한 담낭



AESOP
(미국, Computer Motion社)



EndoAssist
(미국, Armstrong Healthcare社)

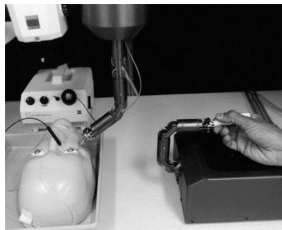


Makoplasty
(미국, Mako Surgical社)



ROSA
(독일, Medtech社)

〈그림 1〉



RAMS
(미국, NASA JPL)



ZEUS
(미국, Computer Motion社)



Da Vinci (미국, Intuitive Surgical Systems社)



Neuromate (영국, Renishaw社)

〈그림 2〉

제거 수술부터 아주 복잡한 승모판 수술까지 적용 범위가 확장되고 있는 추세이다.

신경외과 영역의 수술 로봇은 위에 설명한 Neuromate 외에 이스라엘 Mazor사에서 개발한 Spineassist가 유럽에서 시판중이며, 캐나다 Surtherland교수가 MR-compatible Neuroarm을 개발하였다. 또한, 저자가 개발한 양방향 방사선 투시기 수술 로봇은 Neurosurgery에 2010년도 12월에 등재되어 기술력을 인정받았다^[2].

현재 국외에서는 임상에서 실제로 사용되는 위와 같은 수술로봇의 적용 제한점을 보완하고 보다 많은 수술분야로 확대하기 위한 연구가 활발하다. 그 실례로 다빈치 보다 크기가 작고 경량화된 모델과 다빈치에 없는 햅틱기술을 적용한 로봇을 발표하고 있다. 또한, 하나의 구멍을 통하여 복강내 접근을 시도하는 단일 포트 수술(Single Port Surgery)^[3]에 이용되는 다관절 로봇, 입이나 항문 등의 자연 신체 구멍을 통한 자연개구부수술(Natural Orifice Transluminal Surgery)^[4]에 이용되는 소형 로봇의 개발도 진행 중이다.

세계적으로 로봇에 의한 집도혁명이 일어나고 있는 가운데, 국내에서도 이러한 수술 로봇 시스템을 도입하여 시술하고 있는 병원들이 많이 있다. 서울 아산병원에서 음성인식 로봇 시스템으로 심장 수술을 하였고, 이춘택 병원에서는 세계 최초로 ROBODOC (한국, (주)큐렉소)를 이용한 로봇 인공관절 재수술에 성공하였다(그림 3).

하지만, 국내의 의학 분야의 치료 실적은 외국의 상위 수준과 견줄 만하지만, 수술 로봇기술은 외국의 수술 로봇을 따라가는 수준이다. 국내 중소기업에서 다빈치와 유사한 복강경 수술로봇이 개발중이며, 저자도 새로운 양방향 방사선 투시기 기반 수술로봇을 개발하였으나 연구실 수준에 불과하여 아직 임상에서 사용되지 못하는 실정이다.



〈그림 3〉 ROBODOC (한국, (주)큐렉소)



IV. 미래 의료용 로봇의 향방

로봇과 의사 그리고 수술실 내의 다른 장비와의 공간내 배치 및 편의성과 안정성을 고려하여 로봇의 소형화 및 정밀화 하는 연구가 진행중이다. 또한, 최근 수술실 내 MRI장비의 이용이 증가되는 추세이기 때문에 자기장 내에서도 작동하는 로봇의 개발도 추진중에 있다. 한편, 소형 로봇으로 내시경을 대신하는 캡슐형 로봇, 소형화 하여 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 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 연구개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

V. 결 언

1980년대를 기점으로 컴퓨터 기술의 발달에 따른 의학영상분야의 눈부신 발전과 1990년대를 기점으로 경쟁적으로 도입된 미세침습수술로 인하여 정밀한 수술에 대한 요구가 폭발적으로 증가하였다. 특히 미세침습수술은 환자에게 가능한 한 적은 손상을 가하며, 빠른 시간 내에 최대한의 치료효과를 얻으며, 수술 후 합병증을 최소화하기 때문에 전 외과영역에 빠르게 도입되었다. 이러한 이유로 인간의 한계를 넘을 수 있는 기술적 수술 분야에 대하여 로봇의 사용이 요구되었다.

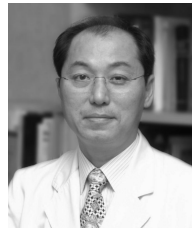
컴퓨터의 발달은 로봇 기술을 급속히 발전시켰으며, 여러 목적의 로봇이 개발되었고 산업에 많이 이용된다. 하지만 최근의 연구는 의료용 로봇분야에서 많은 업적이 발표되고 있으며 향후 추이가 주목되고 있다. 여전히, 현재의 체계로서는 향상시켜야 할 부분들이 많지만, 사람으로서는 불가능한 일들을 수행할 수 있는 의료로봇이 꾸준히 나오고 있다는 점에서는 매우 고무적이라 할 수 있다.

세포 수준의 임무를 수행하거나 판단과 학습이 가능한 수술 로봇은 아직은 요원할지 모른다. 하지만 세계의 많은 대학과 연구소에서 연구되고 있는 의료로봇들은 외과의가 기존의 수술방식으로는 하기 어려운 수술들을 가능하게 하고 있다.

따라서 향후 10~20년 후에는 매크로로봇에서 마이크로로봇에 이르기까지 수술실에서 다양한 역할을 수행하는 의료로봇을 볼 수 있게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. H. Taylor and L. Juskowicz, Computer-integrated Surgery and Medical Robotics, Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design, McGraw Hill, 2002
- [2] S. Kim, J. Chung, B.-J. Yi, and Y. S. Kim, An Assistive Image-Guided Surgical Robot System using O-arm Fluoroscopy for Pedicle Screw Insertion: Preliminary and Cadaveric Study, Neurosurgery, pp.1757-1767, 2010
- [3] D. Canes et al., Transumbilical Single-Port Surgery : Evolution and Current Status, European Association of Urology, pp.1020-1030, 2008
- [4] Jonathan P. and Jeffrey P, Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery: Past, Present and Future, Journal of Minimal Access Surgery, pp.43-46, 2007



김 영 수

1982년 2월 연세대학교 의학 학사.
 1990년 2월 연세대학교 신경외과학 석사.
 1995년 2월 연세대학교 신경외과학 박사.
 1996년 2월~1997년 1월 Depart. of Neurosurgery, PUMC, USA, 조교수.
 2000년 3월~현재 한양대학교 의과대학 교수.
 2002년 3월~현재 차세대지능형수술시스템개발센터 센터장.
 2008년 3월~현재 (사)대한의료로봇학회 이사장.
 2009년 3월~2010년 2월 대한정위신경외과학회 회장.
 <관심분야> 파킨슨병 및 이상운동질환, 삼차신경통 및 통증성질환, 뇌종양, 수술용로봇시스템

김 형 욱

1994년 2월 한양대학교 전자공학 학사.
1997년 2월 한양대학교 기전공학 석사.
2005년 2월 한양대학교 전자공학 박사.
2006년 6월~2007년 10월 일본 JAIST Post. Doc.
2007년 11월~2011년 6월 일본 나고야공업대 조교수.
2011년 7월~현재 한양대학교 의과대학 의공학연구소
연구교수.