

외과 영역에서의 로봇수술

Robotics and Surgery

이 우 정

연세의료대 세브란스병원 외과 · 내시경수술/로봇수술센터

서울 서대문구 신촌동 134

Woo—Jung Lee, M.D.

Department of Surgery

Minimally Invasive Surgery / Robot Surgery Center

Yonsei University College of Medicine, Severance Hospital

E—mail : wjlee@yumc.yonsei.ac.kr

Abstract

Nowadays robotics are used in all surgical fields. By increasing the intra—abdominal articulation while operating through a small incision, robotics are increasingly used for a large number of visceral and solid organ operations, including surgery on the gallbladder, esophagus, stomach, intestines, colon, and rectum, as well as for the endocrine organs. As a specialty, robotics should continue to grow. The robotic era enables general surgeons perform more and more complex procedures through small incisions. As technology catches up with our imagination, robotic instruments and 3—D monitoring will become a routine practice and continue to improve the patient care by providing surgeons with most precise, least traumatic ways of treating surgical diseases.

Keywords : Robotic Surgery; Tele—Presence Surgery; Da Vinci Surgical System

핵심용어 : 로봇수술; 원격수술; 다빈치 시스템

서론

로봇이란 용어가 세상에 알려진 것은 1921년 체코의 극작가 Karel Capek이 쓴 희곡 ‘Rossum’s Universal Robots’에서 처음 사용되었으며, 당시에는 반복적인 일을 하는 단순한 기계를 의미하였다. 1942년 Isaac Asimov가 쓴 공상과학소설에 지능을 가진 로봇이 등장하였으며, 현재 많이 인용되는 로봇의 3대 원칙이 바로 여기에서 나왔다. 이어 1970년대 아주 유명한 영화 ‘스타워즈’에 R2D2라는 로봇이 우리에게 다가왔으며, 최근에는 영화 ‘터미네이터’ 시리즈 등에서 많이 다뤄지고 있어 생소한 용어가 아닐 것이다. 그러나 소설이나 영화에도 의료에 사용되는 로봇은 그리 많지 않았다.

필자가 초등학교 시절로 기억하는 약 35년 전 광화문 앞 국제극장(지금은 없어짐)에서 상영되었던 ‘마이크로 결사대’라는 영화를 본 적이 있다. 의학에 관련된 과학소설(원제: Fantastic Voyage)을 영화화한 미국 영화였다. 총상으로 한 과학자가 뇌 손상을 받았는데 손상 부위가 아주 깊어서 일반적인 외과 수술방법으로는 오히려 환자에게 치명적인 손상을 줄 가능성이 높아, 외과 의사 한 팀을 아주 작게 축소화시켜 환자의 말초혈관을 통해 혈관 속을 거쳐 손상된 뇌 부위로 들어가 성공적으로 치료를

하고 나오는 내용이었다. 당시에는 실현될 수 없는 꿈같은 내용이었지만, 현재 의학의 수준으로 보면 비록 사람이 축소되어 들어가지는 않지만 외부와 연결된 아주 가느다란 기구를 말초혈관을 통해 병변 부위에 도달시켜 여러 가지 조작을 통하여 실제로 활발히 치료를 하고 있다(Interventional Radiology or Endovascular surgery 중재방사선치료 혹은 혈관 내 중재수술).

필자가 1990년 연세의료대 세브란스병원에서 전임의를 하던 시절, 당시 우리나라에 처음으로 외과에 복강경 수술이 도입되던 시기로, 외과 교실의 배려로 복강경 수술을 배울 수 있었다. 당시 담낭을 제거하기 위해서는 약 20cm 정도의 개복상처를 통하여 담낭을 절개하는 것이 보통의 수술이었는데, 복강경 수술로 하게 되면 배꼽에 약 1cm의 투관침을 뚫고 복강경 카메라를 삽입한 다음 배속을 카메라를 통해 보면서 0.5cm 구멍 3개를 추가로 뚫어서 젓가락같이 기다란 기구를 삽입하여 담낭을 밀고 당기면서 담낭절제를 시행하는 방법이었다. 복강경 수술이 도입된 초기에는 지혈 방법으로 그 당시에는 레이저를 많이 사용하였으나 지금은 대부분 전기소작술로 지혈을 하고 있다(지금도 복강경 담낭절제수술이 레이저로 간단히 돌만 꺼내는 수술로 알고 있는 사람이 많은데 이는 잘못 알려진 것이다). 적은 흉터 뿐 아니라 환자의 회복이 빠르고, 통증이 적고, 입원기간을 단축을 시킬 수 있기에 최근 담낭절제에서는 거의 모든 환자에서 복강경 수술이 이루어지고 있다.

이러한 수술의 기술적인 면이 점차 발전하여 1990년대 중반에는 복강경 카메라 조정로봇(AESOP)이 개발되었으며, 1990대 말부터는 복강경 카메라 뿐 아니라 수술기구까지 조정되는 로봇들(Zeus/da Vinci)이 개발되어 실제 수술에 사용되어 왔다(1). 최근에는 원격 수술까지 성공하여 이 분야의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 미국

을 비롯한 선진국에서는 복강경 수술 뿐 아니라 다른 분야의 수술에서도 로봇 수술이 이미 보편화되어 가고 있다 (2). 필자는 로봇 수술의 현황과 전망에 대하여 설명하도록 하겠다.

로봇수술

1. 로봇수술의 역사

로봇이 외과적 기계로서 임상적으로 처음으로 적용된 것은 1992년 인공고관절 수술(artificial hip replacement)에서의 이용이었다. 미국에서 개발한 '로보닥(RoboDoc system)'이라는 기구로 컴퓨터에 입력된 환자의 뼈와 인공관절의 해부학적 상태에 대한 자료를 분석하여 인공관절을 삽입할 부위를 로봇으로 가공함으로써 수작업에 비하여 시간을 단축하고 정확성을 높일 수 있는 장비다(3).

RoboDoc은 미국의 정형외과 의사인 Bargar가 IBM의 재정적인 도움을 받아 캘리포니아 대학과 팀을 이루어 고관절 전치환 수술용 로봇으로 개발하였으며, 5자유도의 로봇 팔을 갖는 일종의 CAD/CAM 시스템이다. 세계적으로 10,000회 이상의 수술이 이 RoboDoc을 이용하여 성공적으로 수행되었으며, 보조물과 뼈 사이의 접촉률이 수작업일 때의 20%와 비교할 수 없을 정도의 높은, 평균 97%의 접촉률을 갖는 결과를 얻게 되었으며, 미국 FDA의 승인을 받았다. 미국의 RoboDoc 뿐 아니라 다른 나라에서도 여러 제품들이 많이 개발되어 사용되고 있다.

우리나라는 2002년 경기도 수원시 이춘택 병원에 국내 최초로 로봇 인공관절수술기기인 미국의 RoboDoc을 도입하였으며 현재까지 1,000회 이상의 시술을 하였다. 최근 한국과학기술원(KAIST)의 윤용산 교수팀과 충북의 대 원중희 교수가 공동으로 개발한 'ArthRobot'이 있으

며 이는 4자유도의 뼈에 부착될 수 있는 고관절 전치환 수술 로봇으로 자동가공모드와 수동모드가 있으며, 수동 모드는 힘센서와 뼈에 어드미턴스(admittance) 모델을 뒀으로써 정확한 경계면을 꺾으면서도 작업할 때 힘이 적게 들게 하였다. ArthRobot은 현재 개발이 완료되어 임상실험 단계에 있다.

이러한 기구는 수술의 과정 중 일부를 자동화한 것이지 실제로 로봇을 이용해서 수술을 하는 것은 아니라서 진정한 로봇수술이라고 하기는 어렵다는 견해도 있다. 그러므로 수술에 직접 사용되는 기구를 사용하는 데 로봇이라는 개념이 사용된 것은 복강경 수술에서의 응용이라고 생각된다. 1990년대 들어서 커다란 발전을 하고 있는 복강경 수술에 로봇에 가까운 기구들이 개발되어 사용되었다. 특히 컴퓨터 모션회사(Computer Motion, Inc., Santa Barbara, CA, U.S.A.)에서 개발한 이숍(AESOP), 제우스(ZEUS), 헤르메스(HERMES) 등이 있다. 1994년에 개발된 이숍(AESOP)은 복강경 수술에 있어 복강경 카메라를 고정해주고 상하좌우 및 원근을 발판이나 손잡이를 눌러 자유로이 조절할 수 있으며 최근에는 수술자의 목소리를 인식하여 동작이 되는 장치로까지 개발되었다. 의료비 중 인건비의 비중이 큰 구미에서는 의료비의 절감과 내구성 및 안정성이 좋아 많이 사용하고 있으며 이미 100,000회 이상의 수술에서 사용되고 있으며 후에 개발된 ZEUS 로봇수술 시스템의 기초가 된다.

국내에서도 1996년 연세의대 세브란스병원에서 필자가 처음으로 복강경적 담낭절제술 및 충수돌기절제술을 보조 수술자 없이 복강경 카메라 조정로봇인 이숍(AESOP)의 도움으로 성공적으로 실시하였다. 그 후 우리나라에 약 7대 정도 이 장비가 도입되어 사용되고 있으며 연세의대는 신촌세브란스병원에 2대, 영동세브란스병원에 1대 등 총 3대를 보유하여 사용하고 있다. 기대보다 많이 도

입되지 않은 것은 인건비가 비싼 외국에서는 많이 사용할수록 의료비의 절감을 가져오지만, 우리나라의 경우 의료비 중 인건비가 차지하는 비율이 낮아 비싼 의료기구의 도입이 활발히 이루어지지 않기 때문이다.

현재 세계 각국에서 엄청난 자본을 투자하여 연구를 하고 있고, 우리나라도 한국과학기술원(KAIST) 소재 '인간친화 복지 로봇시스템 연구센터' 및 과학기술원(KIST)이 주축이 되어 로봇 연구를 벌써부터 하고 있다. 소형로봇을 이용한 내시경기구도 2000년부터 10년간의 계획(지능형 마이크로 시스템 개발사업)으로 사업을 시작하고 있다. 최근에 필자는 KAIST와 공동 연구하여 음성인식 및 자동추적장치를 이용한 로봇 복강경을 개발하고 있으며, 거의 완성단계에 있다.

이숍(AESOP)도 복강경 수술에서 복강경 카메라를 고정 및 이동하는 카메라 보조로봇이기 때문에 진정한 의미에서의 로봇수술이라고 하기에는 부족한 감이 없지 않다. 물론 아직은 기계가 알아서 수술을 해주는 로봇 수술은 없는 상태이며 앞으로 개발되어야 할 것이다. 이런 의미에서 로봇수술이라는 용어보다는 수술 로봇(Surgical Robot)이란 용어가 적당하다고 생각한다. 즉, 수술 로봇이란 수술도구가 환자와 직접 접촉하는 수술과정의 전체 혹은 일부분을 로봇이 담당하게 함으로써 기존에 불가능하던 수술을 가능하게 하거나, 시술의 정확성과 성공률을 높이거나, 시술 시간 및 비용 단축, 혹은 원격수술 등을 목적으로 하는 로봇이다. 현재까지 연구된 수술 로봇은 미세 수술용 원격수술 로봇시스템, 최소침습수술 로봇시스템, 개복 수술 로봇 등이 연구, 개발, 상용되고 있다.

그동안 여러 시스템이 개발되었지만 그 중 현재 로봇수술이라고 할 수 있는 시스템이 몇 가지 있으며, 최근 실제로 상용화되어 판매되고 있는 시스템(commercially



그림 1. Surgeon's console of da Vinci system

available telerobotic surgical system)은 제우스 시스템(Zeus)과 다빈치 시스템(da Vinci system)의 두 가지가 있다. 이에 대한 설명은 아래와 같다.

Yulun Wang이 컴퓨터 모션사를 설립하고 이숍(AE-SOP)을 상품화해서 판매하고 있는 동안, Frederic Moll은 인투이티브사(Intuitive Surgical, Inc.)의 사업을 시작하면서 다빈치(da Vinci) 시스템을 개발하여 발표하였다. 이 기계를 이용하여 1997년 벨기에에서 처음으로 환자에서 수술이 이루어졌다. 1년 후 컴퓨터 모션사가 제우스(Zeus) 시스템을 만들기 시작하였다. 이 두 시스템은 비슷한 기구이지만 크게 두 가지의 차이가 있다. 첫째, 제우스는 복강경 수술과 같이 모니터를 보면서 수술하는데 비해 다빈치는 입체영상(stereoscopic image) 하에 수술이 이루어진다는 사실이다. 둘째, 제우스는 복강경 수술에 사용되는 기구와 같은 기구를 사용하여 수술하는



그림 2. da Vinci Robot cart with 4 robotic arms

(5자유도 구현) 데 비해 다빈치는 기구가 손목처럼(endowrist system) 마음대로 구부러지는 동작을 구현함(7자유도 구현)으로써 마치 환자의 앞에서 바로 보면서 자유로운 동작을 구현하는 수술이 가능하였다. 이 기구가 발전하여 현재의 다빈치 시스템은 4개의 로봇 팔을 가진 시스템으로 발전되었으며, 2001년 미국 FDA 승인을 받았다. 이와 같이 한동안 로봇수술은 '제우스'와 '다빈치'의 두 시스템이 대표적으로 사용되었으며, 기타 몇 가지 시스템이 개발되고 있었으나 최근 '제우스'를 생산하는 회사가 '다빈치'의 회사에게 합병을 당하여 이제는 '다빈치'의 독무대라고 해도 과언이 아니다. 이에 필자는 위의 여러 시스템 중 '다빈치 원격로봇수술 시스템(the da Vinci Telerobotic Surgical System)'에 대하여 좀 더 자세히 설명하겠다.

2. da Vinci Surgical System

(Intuitive Surgery, Mountainview, CA, U.S.A.)

다빈치 시스템은 다음 세 개의 부분, 즉 로봇 카트(the robotic cart), 수술 콘솔(the operating console), 그리고 복강경 부분(endoscopic stack)으로 나누어진다. 로



그림 3. Operation view in which the operator sit in the surgeon's console of da Vinci system

봇 카트는 약 2m의 높이에 544Kg의 무게를 가진 실제 수술이 이루어지는 로봇 팔 부분으로 환자의 위나 옆에 위치한다. 복강경 카메라를 고정 및 조정하는 팔이 가운데 있으며, 수술용 기구가 작동되는 팔이 3개 더 있다. 이 기구로 수술 콘솔에서 의사에 의해 시행되는 동작이 전달되어 작동되는 것이다. 수술용 기구가 작동되는 팔은 7자유도를 구현하므로 수술자의 손동작을 거의 그대로 전달할 수 있다. 수술 콘솔은 입체영상을 볼 수 있는 양안 화면이 있으며, 기구를 작동하는 컴퓨터 장치가 있다. 수술용 기구를 조정하는 마스터 기구조정장치(master instrument controllers)가 있으며, 의사는 조정장치 앞에 앉아서 편안히 손을 얹어 놓고 기구를 작동하면, 그 동작이 콘솔에서 로봇 카트로 전달되어 수술용 기구가 작동하게 되는 것이다. 수술 콘솔에는 몇 개의 발판이 있는데, 이는 경우에 따라 전기 조작을 하거나 또는 기구 조정장치나 복강경 카메라 등의 움직임에 교대하는 각각의 발판으로 기능이 설정되어 있다(그림 1~5).

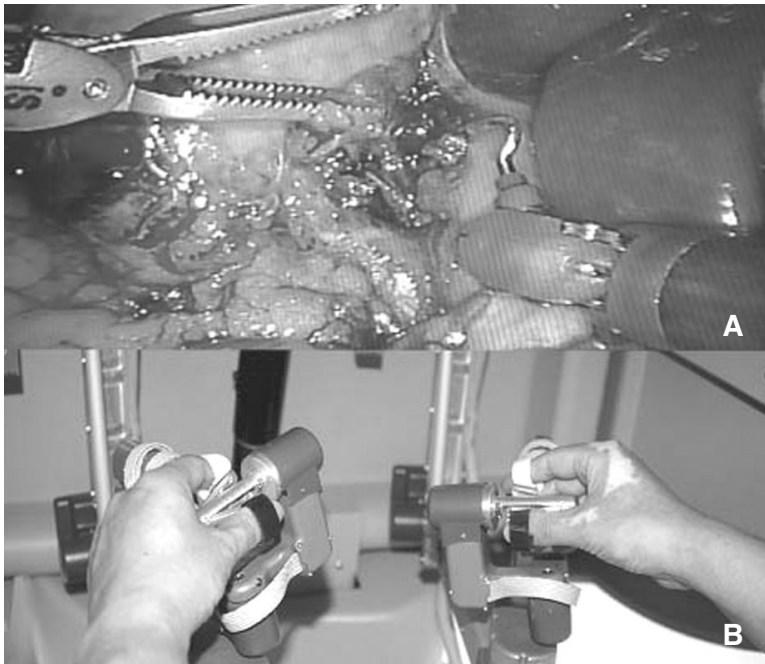
다빈치의 장점 중 하나는 복강경 수술 뿐 아니라 일반 수술에서도 사용이 가능한 시스템이라는 것이다. 그러므로 다빈치의 이용 확대가 가능하다. 그러나 이 시스템의



그림 4. The application of da Vinci Robot cart in real operation of experimental swine model

진가는 복강경 수술에서 나타난다. 즉 입체시야 하에서 마치 시술자의 손목동작과 같이 구현할 수 있으므로 기존의 복강경 수술에서는 할 수 없었던 동작이 가능하고 하기 힘든 동작도 아주 쉽게 할 수 있다. 그래서 전립선암에서 전립선을 제거하는 경우 기존의 복강경 수술보다 월등한 면이 있어 근래에 미국의 경우 폭발적인 수요 증가가 있었으며, 최근 미국의 경우 다빈치 중 반 이상이 비뇨기와 수술용으로 판매되고, 수술 건수도 폭발적으로 증가하고 있다.

전 세계적으로 약 350대 이상이 판매되었다고 하며, 동양에도 이미 10여대가 보급되었다. 우리나라의 경우 2005년에 연세의대 세브란스병원에 도입되어, 그 해 7월 13일 한국 FDA 승인을 받아 7월 15일 첫 수술(담낭 절제술, 전립선암 수술)을 시행하였으며, 이어 위암 수술, 담도낭종 수술도 시행하였다. 2006년 4월 초까지 60여건의 수술(외과, 비뇨기과, 흉부외과, 산부인과)이 시행되었으며 점차 증가하고 있는 추세다. 문제는 고가의 장비(약 25억) 및 기구를 사용하여야 하므로 수술비용이 고가인데 비해 의료보험의 혜택을 받을 수 없어 환자부담이 크다는 것이다.



A) Surgical field shows the operation procedure
B) Both hands operate the motion of robotic instrument in the surgical field

그림 5. Operation in surgeon's console of da Vinci system

3. 원격수술

원격수술은 인간에 해로운 방사능 물질을 취급하기 위하여 개발된 장치로, 지금은 나쁜 환경 뿐 아니라 공간을 초월한 작업을 하기 위한 장치로 많이 개발되고 있다. 이러한 원격수술의 한 형태로 주/부 원격장치(master/slave teleoperator)가 있는데, 이는 주 장치(master exoskeleton)에 시술자의 팔과 손을 넣고 떨어져 있는 부 장치(slave robotic arm)를 조작함으로써 정교한 작업을 수행할 수 있게 한다.

외과 수술에 적용된 시스템 중의 시초가 그린 원격수술 장치(the Green telepresence surgery system)인데, 이는 그린 박사(Dr. Philip Green)에 의해 개발된 것이다. 이것은 복강경 수술의 세 가지 주된 맹점인 ① 3차원 영상(입체감)의 결여, ② 정교하지 못한, ③ 감각 연동

(sensory feedback)의 결여, 이 세 가지 요소를 해결하기 위해 개발된 원격수술장치다. 즉 입체화면 카메라(stereoscopic camera)를 통해 생생한 화면을 보면서 정교한 로봇 손(dexterous manipulator)을 이용하여 원거리 환자의 수술부위를 수술하는 것이다. 이러한 장치는 외과 의사로 하여금 영상화면 앞에서 마치 수술하고자 하는 곳에 있는 것같은 촉감과 정교함을 제공하여 실제처럼 느끼면서 수술할 수 있도록 해준다. 시스템은 외과 의사로 하여금 환자 바로 옆에서 수술할 수 있게 할 뿐만 아니라 우주 정거장이나 제3세계의 나라에서도 수술을 할 수 있도록 해준다.

2001년 9월 7일 'Operation Lindbergh: a World First in Telesurgery: The Surgical Act Crosses the Atlantic!' 라는 수술이 시행되었는데 이는 세계 최초로 대서양을 사이에 둔 뉴욕의 병원이 아닌 한 건물에서 의사(Dr. Marescaux와 수술조수 Dr. Gagner)가 수술을 집도하여 1,000km 떨어진 프랑스의 Strasbourg 병원에 있는 환자의 원격 담낭절제술을 성공시킨 수술이며 이는 진정한 원격수술의 효시라고 할 수 있다(5).

소화기외과 영역에서의 로봇수술

로봇수술은 어느 한 영역에서 사용되는 것이 아니라 거의 모든 영역에서 사용 가능하다. 그 중 외과, 심장외과, 비뇨기과 등이 활발히 사용하고 있으며, 특히 미국의 경

우 비뇨기과 영역에서 최근 로봇수술의 엄청난 증가가 있었다. 외과 영역에서도 거의 모든 분야에서 사용이 가능하다. 여기에서는 주로 소화기 영역에서의 로봇수술에 대하여 설명하도록 하겠다.

1. 로봇 담낭절제술

로봇수술의 시작은 대부분 담낭절제술로 시작하였다. 1993년 Gagner 등이 최초로 로봇 팔(robotic arm to hold the camera)을 이용하여 복강경을 조정하면서 담낭절제술을 시행하였다. 그리고 1997년 Himpens 등이 벨기에에서 진정한 의미의 로봇의 도움을 받아 담낭절제술을 성공하였다. 초기에는 제우스 시스템과 다빈치 시스템의 두 로봇이 사용되었으나 최근에 제우스 시스템의 회사가 다빈치 시스템의 회사로 합병되어 다빈치의 독무대라고 해도 과언이 아니다.

우리나라의 경우 1996년 연세의대 세브란스병원에서 복강경 카메라 조정 로봇인 로봇 팔(AESOP 1000)을 사용하여 첫 담낭절제술을 시행하였으며(이우정, 김병로) 이는 대한민국 최초의 로봇수술이라 할 수 있다. 그리고 진정한 로봇수술은 연세의대 세브란스병원에서 2005년 4월 말경에 다빈치를 도입하여, 그 해 7월 13일 한국 FDA 승인을 받아, 7월 15일 첫 담낭절제술을 시행하였으며(이우정, 형우진, 나군호, 지훈상 등), 이는 대한민국의 진정한 로봇수술의 효시라 할 수 있다.

2. 로봇 식도 수술

(Telerobotic Foregut and Esophageal Surgery)

상부위장관의 경우 저침습수술이 많이 사용되어 왔으며, 로봇수술의 경우 기존 저침습수술에서 하기 어려웠던 자유로운 손동작을 할 수 있어 오히려 수술이 쉬워져 많은 발전이 있었다. 복강경수술 중 하기 어려운 결찰, 봉

합, 그리고 장문합 등의 술기가 가능해진 것이다. 최근 많이 이루어지고 있는 수술을 나열하면 다음과 같다.

Antireflux surgery, heller myotomy, bariatric surgery, esophagectomy, pyloroplasty, gastrojejunostomy, duodenal polypectomy 등 거의 모든 수술에서 사용되고 있다. 우리나라의 경우 상부위장관이나 식도 질환이 구미에 비해 많지 않아 수술예가 그리 많지 않고, 특히 로봇을 이용한 경우는 아직 보고가 없다.

3. 로봇 위 수술

(Robot-assisted Laparoscopic Gastric Surgery)

로봇을 이용한 위 수술은 여러 질환에서 모두 가능하다. 미국 등 유럽에서는 주로 고도비만 환자에서 시행되는 bariatric surgery가 많이 이루어지고 있다. 문헌에 의하면 1998년 벨기에의 Cadiere 등이 첫 bariatric 수술을 시행하였다. 당시는 다빈치의 전 모델인 Mona(Intuitive Surgical, Mountain View, California)를 사용하여 복강경적 위 밴드(gastric banding) 수술을 시행하였다(6). 이어 2001년 미국의 시카고에서 Horgan과 Vanuno가 로봇을 이용하여 고도비만 환자에서 gastric bypass수술을 성공하였다(7).

일본이나 우리나라는 고도비만보다는 조기위암 환자의 복강경적 수술이 많이 이루어지고 있으며, laparoscopic wedge resection, laparoscopic intragastric resection 그리고 laparoscopy-assisted distal gastrectomy 등이 이루어지고 있다. 우리나라의 경우 로봇수술 역시 연세의대 세브란스병원에서 조기위암 환자에게 2005년 7월 22일 첫 다빈치 로봇 이용 distal gastrectomy 수술을 시행하였다(형우진 등). 비용 문제만 해결되면 많은 환자에게 로봇수술이 시행될 수 있으리라고 생각한다.

4. 로봇 대장 수술

(Robot-assisted Laparoscopic Colorectal Surgery)

대장-직장 수술의 경우 복강경을 이용하면 개복보다도 술기상 어려운 점이 많다. 로봇수술을 하게 되면 이러한 많은 어려움을 극복할 수 있다. 즉 3차원 입체영상을 통해 보면서 개복해서 수술할 때와 같이 손동작이 가능한 기구(EndoWrist)를 사용하여 골반 깊숙이 있는 부위의 수술을 손떨림 없이 수술할 수 있다. 이러한 장점을 이용하여 anterior resection, abdominoperineal resection 그리고 rectopexy 등의 수술이 로봇을 이용하여 이루어지고 있다. 오히려 개복할 때보다도 깊숙한 부위를 확대된 입체영상을 보면서 수술하기 때문에 요관이나 골반신경의 손상 위험도 오히려 적다. 아주 좁은 공간에서 봉합이나 장문합이 가능한 장점도 있다.

로봇수술에 대한 전망

현재 많이 시행되고 있는 복강경 수술은 수술 정보세대 혁명의 시작을 알리는 과도기 기술이고 로봇의학, 원격수술, 가상현실 등이 다음 혁명 단계이다. 이러한 기술들이 인터넷을 통하여 세계 어디서나 원격교육(tele-education)이나 모의수술연습(surgical simulation)같은 새로운 교육 기회에 접할 수 있게 할 것이고 교육적인 과정의 보다 많은 확대를 직접 가져다 줄 것이다. 그리고 우리가 사용하고 있는 수술 로봇들은 아직은 로봇 혁명의 시작일 뿐이다. 현재의 로봇수술은 수술콘솔 또는 워크스테이션에서 이루어지는 공통점을 가지고 있다. 최근 개발하고 있는 시스템으로 환자의 수술 전 검사 영상이 워크스테이션에 같이 보이거나 중첩되게 보이게 하여 수술 전이나 또는 수술중이라도 영상을 보면서 수술에 적용할 수 있게 하는 것이다.

지금까지의 기계는 촉감을 느끼는 데 아주 부족한 시스

템인데 비해 이러한 촉감을 느낄 수 있는 시스템이 개발되고 있고 동작도 훨씬 자유로운 시스템이 개발될 것이다. 그리고 아직은 시스템이 크고 무거운데, 점차 작고 가벼운 시스템으로 발전될 것이며 가격도 점차 낮아질 것으로 생각한다. 발전을 거듭하여 결국 시스템이 점점 지능적이 되어 스스로 수술을 하는 시스템이 될 수 있으리라고 생각된다. 즉 의사가 미리 계획을 세운 동작을 수행할 수 있는 시스템이 될 것이라는 것이다. 더욱 발전하면 스스로 치료를 하는 시스템까지도 생각해 볼 수 있다.

원격수술의 경우 아직은 수술자와 로봇 팔간의 시간차가 있어 동작의 한계가 있다. 그러나 이것도 점차 개발이 되면 멀리 떨어진 곳에서(예를 들면 전쟁터의 환자나 우주에 있는 환자 등) 수술을 할 수 있는 시스템이 개발될 수 있으리라고 생각된다. 한편 나노 기술(nanotechnology & microelectromechanical systems)의 발전으로 기구나 로봇이 점차 작아져서 작은 로봇을 혈관 내로 주입하여 항로를 결정하고 치료할 수 있는 단계도 가능하리라고 생각한다.

결론

국내의 의료 로봇 시스템에 관한 연구 및 개발은 아직 초보 단계에 있는 실정이지만, 미국을 비롯한 세계적으로 로봇을 이용한 의료 서비스의 효용성이 이미 증명되어 가고 있는 만큼 점차 확대되어 갈 것은 분명하다. 우리나라에서도 기존의 의료 환경을 개선하고 국민의료복지 증진에도 기여하면서 의료 로봇 시장을 확보할 수 있는 우수한 의료 로봇 시스템의 개발을 위해서는 의료 전문가와 로봇 관련 전문가의 적극적인 상호 협력이 가장 먼저 요구된다. 또한 더 앞서는 로봇의 개발을 위해 국가적인 차원에서의 장기적이고 규모있는 투자가 병행되어야 할 필요가 있다. ㉠

참 고 문 헌

1. Ballantyne GH, Marescaux J, Giulianotti PC. Primer of robotic & telerobotic surgery Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1988
2. Gill IS, Sung GT, Ballantyne GH. Robotic in surgery. Surg Clin North Am 2003; 83: 15 - 6
3. Bargar WL, Bauer A, Borner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system. Clin Orthop Relat Res 1998; 354: 82 - 91
4. Ballantyne GH, Moll F. The da Vinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery. Surg Clin North Am 2003; 83: 1293 - 304
5. Marescaux J. Code name: "Lindbergh operation". Ann Chir 2002; 127: 2 - 4
6. Cadere GB, Himpens J, Hainaux B, Gaudissart Q, Favretti S, Segato G. Laparoscopic adjustable gastric banding. Semin Laparosc Surg 2002; 9: 105 - 14
7. Horgan S, Vanuno D. Robots in laparoscopic surgery. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2001; 11: 415 - 9



Peer Reviewer Commentary

김 형 호 (서울의대 분당서울대병원 외과)

본 논문은 최근 사용되기 시작한 master-salve manipulator에 대한 소개로 매우 유용한 정보를 제공하고 있다. 이 surgical robot은 구미 각국에서 사용되기 시작하여 필자가 언급한 것처럼 radical prostatectomy 및 일부 심장 혈관 분야에 활발히 사용되고 있다. 그러나 그 외의 분야에서는 아직 적용이 활발하지는 않으며 이는 기존의 복강경 수술을 능가하는 evidence를 축적하지 못하였기 때문이다.

현재의 surgical robot은 tactile feedback(haptic sense)이 제한되는 기술적 한계를 가지고 있지만 향후 이를 보완하고 더욱 compact화 되면서 진단 기계(PET CT 등), 정보화기기(broad band width 등), virtual reality와 결합한다면 미래의 진단, 치료, 교육에 핵심적 역할을 발휘하리라는 데 의문이 없다.