

폐암에서 로봇을 이용한 폐절제술

국립암센터 폐암센터 흉부외과

이 현 성 · 장 희 진

Robot-Assisted Pulmonary Resection For Lung Cancer

Hyun-Sung Lee and Hee-Jin Jang

Center for Lung Cancer, Research Institute and Hospital, National Cancer Center, Goyang, Korea

Minimally invasive surgery (MIS) for early stage lung cancer has been an important treatment modality. However, the ergonomic discomfort and counterintuitive instruments hindered the application of video-assisted thoracic surgery (VATS) to more advanced procedures. To improve the compliance with MIS, robotic surgery was adopted. This advance aimed to alleviate the shortcomings of VATS by maximizing the comfort of the surgeon while providing instruments that enabled technically demanding operations and three-dimensional views with increased freedom for intrathoracic movement owing to *EndoWrist*[®]. In this session, we introduced the clinical applications and its results of robot-assisted thoracic surgery in the field of lung cancer surgery. In conclusion, robot-assisted pulmonary resection with lymph node dissection for lung cancer is safe as well as feasible, and it results in a satisfying postoperative outcome. Robot-assisted surgery may provide a good alternative to conventional open or thoracoscopic surgery for lung cancer, provided that the cost effectiveness and long-term prognosis are confirmed.

Korean J Bronchoesophagol 2011;17:92-97

KEY WORDS Robotic surgery · Lung cancer · Pulmonary resection · Lobectomy · *Da Vinci* surgical robot.

서 론

비디오흉강경을 이용한 폐엽 절제술은 1990년대 초반에 처음으로 보고되었으나, 비디오흉강경수술(Video-assisted thoracic surgery; VATS)은, 폐암에서의 폐엽 절제술보다는 흉부의 양성 질환과 같은 비교적 간단한 수술에 제한적으로 이용되어 왔다. 하지만, 개흉술에 비해 재원기간의 단축이나, 술 후 통증이나 합병증이 감소하는 등의 장점이 부각되면서 이러한 최소 침습 수술이 초기 폐암에 있어 적용되기 시작하였다. 최근 폐암에서 비디오 흉강경을 이용한 폐엽 절제술의 생존율이 초기 폐암에서는 개흉술과 견주어 비슷하거나 오히려 우수한 결과를 보이는 등, 종양학적인 관점에서도 그 역할에 대해 검증된 논문들이 보고되고 있다.¹⁻⁶⁾ 이로써 수술 후 합병증 발생을 포함한 단기 결과나 무병생존율과 5년 생존율 등의 장기 결

과에서 일반적인 개흉술에 뒤지지 않는다는 결과를 통해, 처음 비디오흉강경을 통한 폐엽 절제술 이후 비디오흉강경수술이 폐암 수술의 한 방법으로 자리잡는 데에는 약 20년의 시간이 걸렸다.^{7,8)}

그러나 비디오흉강경수술은 직선형 기구들을 사용하여 관절 움직임이 제한되기 때문에, 일반적으로 초기 폐암을 제외한 경우의 종격동 림프절 절제술은 개흉술에 비해 만족스럽지 못한 경우가 있고, 이로 인해 개흉술로 전환하는 경우가 10~15% 정도로 보고된 바 있다.¹⁻⁶⁾ 또한 비디오흉강경수술의 숙련도 및 학습곡선이 외과의별로 차이가 많아 기관별로 편차가 심한 것은 사실이다.

실제로 미국 흉부외과 데이터베이스를 통한 비디오흉강경수술의 적용율을 보면, 20% 미만에서 비디오흉강경 폐엽절제술을 시행하며,⁹⁾ 대학병원급이 아닌 일반외과에서 시행되는 폐엽 절제술까지 포함하면 실제 6% 이하에서만 비디오흉강경 폐엽 절제술을 시행하는 것으로 보고되어, 폐암에서 비디오흉강경수술의 적용이 저조함을 보여주고 있다.¹⁰⁾

한편 1990년대 후반에 이르러, 로봇을 이용한 폐엽 절제술

논문접수일: 2011년 12월 21일 / 심사완료일: 2011년 12월 26일

교신저자: 이현성, 410-769 경기도 고양시 일산동구 일산로 323

국립암센터 폐암센터 흉부외과

전화: 031-920-1648 · 전송: 031-920-2798

E-mail: thoracic@ncc.re.kr

과 간단한 흉부 수술이 시작되었으나, 수술 시간의 증가 및 개발 초기단계의 둔탁한 로봇 장비는 수술의 문제점으로 지적되었다. 2002년 미국에서 처음으로 로봇을 이용한 흉부 수술을 시작하였음에도 불구하고, 고가의 로봇 장비로 인한 수술 비용의 증가, 다양하지 못한 수술 기구 등은 로봇 수술의 영역을 확대시키는데 걸림돌이 되었다. 현재 사용되고 있는 로봇 시스템 중 대표적인 회사인 인튜이티브(Intuitive Surgical, Sunnyvale, California)사의 다빈치수술시스템(*da Vinci Surgical System*)은 3차원 영상 및 확대된 영상을 제공하며, 최근에는 고해상도 화질까지 구현하고 있다. 로봇팔은 기존의 흉강경 기구들에 비해 민첩성을 향상시키고 관절 움직임을 재현하였을 뿐만 아니라, 안전성 및 정교한 움직임을 가능하게 하였다. 그러나, 시스템 설치와 관련한 초기 비용이 높고, 수술팀의 전문교육이 필요하며, 대부분의 장비가 시스템에 장착할 수 있는 횡수가 제한되어 있어 유지 비용이 높게 드는 등의 초기 설치까지의 기간이나 비용의 문제가 단점으로 지적되어 왔다. 이외에도, 촉감에 대한 피드백이 없고, 외과외가 수술영역 밖에 있으므로 잘 훈련된 보조자가 필요한 점도 로봇 수술이 쉽게 정착될 수 없는 한계로 인식되어 왔다. 또한 일반적인 외과외가 접하게 되는 경복부 시술과 달리 경흉부 수술의 경우, 복부와는 다른 해부학적 또는 생리학적 문제가 발생하게 되는데, 먼저 복부와는 달리 흉부의 경우 흉곽이 고정되어 있어, 늑간을 통한 제한적 흉부 접근만이 가능하다는 점과, 복부와는 달리 심장과 반대편 폐의 움직임으로 인해 수술시야가 지속적으로 움직인다는 문제가 있다. 또한 환자의 상태에 따라 일측 폐환기가 어렵거나, 또는 일측 폐환기 중 심폐기계 문제가 발생할 수 있다는 점이 제한점이 될 수 있다.

하지만, 로봇수술은 현재 이용되는 흉강경 수술 장비나 기구들이 가지고 있는 단점을 극복할 수 있다는 점에서 주목을 받고 있다. 현재 이용되고 있는 다빈치수술시스템은 수술기구의 자유도 증가, 지렛대 현상의 극복, 손떨림의 제거, 3차원 입체 영상의 제공 및 인체공학적인 자세를 통한 외과외의 피로도 감소와 감염 등의 위험에서 수술자를 보호할 수 있는 등의 장점은 최근의 미소침습수술의 추세에 가장 잘 부합 하는 최신의 수술시스템이라 할 수 있다.

로봇 수술 시스템은 임상에 적용된 지 10년 남짓으로, 수술 방법이나 적응증 또는 적용기준 및 수술 성적에 대한 보고들은 아직 많지 않다. 이러한 새로운 수술방법이 실제 임상에서 활발하게 적용되려면 다음 몇 가지 요소에 대한 평가를 통하여 안전성과 효용성이 입증된 이후에 가능하다. 첫째, 수술 안전성(합병증 발생율과 수술 사망율), 둘째, 중앙학적인 관점에서의 수술 적정성(절제연, 림프절 절제 정도, 재발률과 생존율 등), 셋째, 수술 의사 간의 수술 차이를 표준화시키는 문제, 넷째

수술 비용문제이다. 그러나 현재 이용되고 있는 로봇 수술 기법들도 끊임없이 변화하고 있으며 이러한 변화는 장단기적인 수술 성적의 향상과 환자의 삶의 질 향상을 위한 방향으로 진행되고 있다. 이에 폐암 환자에서의 로봇을 이용한 폐엽 절제술의 시행 가능성과 그 문제점에 대해 논의하고자 한다.

본 론

다빈치수술시스템

우리나라에 인튜이티브사의 다빈치수술시스템은 2005년 5월 연세대학교 신촌 세브란스 병원에 최초로 도입되었고 식약청의 허가가 2005년 7월에 이루어져 국내 최초로 담낭절제술이 시행되었다. 2011년 현재까지 국내에는 약 30여대의 다빈치 수술시스템이 설치된 상태이고, 신모델인 다빈치 *Si* 시스템도 들어와 있다. 다빈치 *S* 및 다빈치 *Si* 시스템은 공통적으로 3부분으로 구성되는데, 1) 집도의를 위한 수술 콘솔(console), 2) 3개의 로봇팔 및 비디오 유니트 그리고 3) 콘솔과 로봇 유니트 사이의 전자연결 타워시스템이 기본 구성이다. 다빈치 *S* 시스템은 이전의 다빈치시스템에 비해 포트의 착탈이 좀더 용이해졌고, 로봇팔의 부피가 작아지고 접히게 되어 체외에서의 로봇팔 간의 충돌이 줄어들었으며, 또한 운동반경이 넓어져 훨씬 기능적이게 되었다. 또한 고해상도의 영상이 가능해졌으며, 환자의 활력 징후를 모니터를 통해 수술자의 콘솔 내에서 볼 수도 있게 되었다. 다빈치 *Si* 시스템은 더 진보된 시스템으로, 고해상도 영상과 두 개의 콘솔 시스템이 가능하게 되어 교육적인 측면이 훨씬 강화되었다. 이와 더불어 *Si* 시스템에는 단일 포트(single port) 수술을 위한 기구들과 교육을 위한 시뮬레이터까지 장착할 수 있도록 업그레이드 되었다.

폐암에서 로봇수술의 적응

로봇을 이용한 폐엽 절제술의 적응증은 비디오 흉강경 폐엽 절제술과 유사하나, 각 외과외에 따라 종괴의 크기나 흉막 유착의 정도, 또는 대열(major fissure)이나 소열(minor fissure)이 완전하게 나뉘었는지 등에 따라 적응증에 변화가 있을 수 있다. 그러나 현재까지는 일반적으로 로봇을 이용한 폐엽 절제술을 시행하는 경우, 임상적으로 종격동 림프절로의 전이가 없는 경우에 시행하는 경우가 대부분이며, 이는 수술 전 흉부전산화단층촬영, 양전자방출단층촬영, 기관지경조음파조직검사 또는 종격동내시경을 통한 림프절조직검사 등으로 충분히 평가하게 된다.

또한 흉막의 유착이 심할지라도 로봇팔이 들어가고 흉강경이 위치할 공간만 형성해주면 30도 흉강경을 사용하여 유착 박리를 용이하게 시행할 수 있다. 또한 일측 폐환기가 잘 되지

않아도 양측 환기시에 호흡량을 줄여 좁은 공간만을 확보한 경우에도 수술을 진행할 수 있다.

로봇 시스템의 여러 장점을 이용하여 소매절제술, 전폐절제술 등의 확대된 적응증이 시도되고 있으나 아직은 증례보고에 머무는 정도이다.

로봇수술팀의 구성

로봇 수술을 안전하게 시행하기 위해서는 외과의사, 마취과 의사, 수술실 간호사 등 전체 팀의 역할 및 교육이 매우 중요하다. 로봇을 이용한 수술이 기존 수술과 다른 가장 큰 차이점 중의 하나는 수술 집도위가 직접 환자 옆에 있지 않다는 점이다. 폐혈관이나 기관지를 절제하기 위해서는 자동봉합기의 사용이 보편적이며, 이를 집도위가 직접 시행할 수도 있으나, 집도위가 콘솔과 수술 영역 사이를 오가면서 시간이 지체되거나, 적절한 견인이 이루어 지지 않을 수 있으므로, 많은 경우 보조의가 이를 담당하게 된다. 이 경우 보조의가 충분히 숙련되어 있을수록 기구가 안전하게 사용될 수 있고, 특히 응급상황에서는 숙련된 보조의의 적절한 대처가 필수적이다. 또한 보조 간호사는 전체적인 수술에 대한 이해와 교육을 통해 예측되는 수술 과정에 맞는 알맞은 기구의 선택과 교환을 적절하게 도와주어야 한다.

로봇을 이용한 수술에서 마취과 의사의 역할도 매우 중요하다. 로봇 흉부수술의 마취 관리는 비디오 흉강경 수술의 환자 관리와 유사하며, 일측 폐환기, 동맥혈압 감시, 중심 정맥로의 확보가 필요하다. 로봇의 일반적인 위치가 환자의 머리 쪽에 있기 때문에 마취과 의사는 환자의 기도에 접근하기가 쉽지 않다. 따라서 로봇시스템이 장착되기 전에 폐 관리가 최적화되어 있어야 한다. 수술 중 환자가 움직이는 경우 로봇 팔에 의한 주요 장기의 손상이 초래될 수 있으므로 환자가 움직이지 않도록 근육이완제를 지속적으로 정주하는 방법이 선호된다.

수술시야를 넓고 깨끗하게 유지하기 위하여 흉강내 이산화탄소 주입을 시행하는 경우에는 흉강내 압력을 10~15 mmHg 정도로 유지하게 되는데,¹¹⁾ 이는 흉강 내 압력을 올리며 기도 압력 또한 증가시키는 결과를 낳을 수 있다. 이 때 드물게 정맥혈 유입의 감소 및 심장의 유순도가 감소되면서 혈액학적 불안정을 초래할 수 있으며, 반대쪽 기도압력을 높여 환기장애투를 유발

할 수도 있다. 따라서 마취과 의사가 일측 폐환기 및 안정된 혈액역학 상태를 유지시켜 주는 것이 성공적인 수술에 필수적이라 할 수 있다. 이렇듯 전체 수술 팀의 안정된 운용은 수술의 능력을 향상시키고, 수술 시간을 단축하기 위해서 매우 중요하다.

로봇폐절제술을 위한 포트의 위치 및 환자의 자세

현재 로봇 폐엽절제술을 시행할 때 로봇팔과 보조의를 위한 포트의 위치는 외과의마다 조금씩 다르게 보고되고 있으며, 로봇의 위치도 상이하다. 미국의 University of Texas, Southwestern Medical Center의 Kemp H. Kernstine¹²⁾은 종양의 위치에 따라 로봇팔의 접근방향이 달라지며 로봇을 위한 포트 외에 보조의를 위해 추가로 2개의 포트를 만들어 총 6개의 포트를 통해 수술을 시행한다. 이 경우 종양 위치에 따라 포트의 위치가 조금씩 달라진다. Hackensack University Medical Center 의 Bernard J. Park¹³⁾은 1개의 개방창과 2개의 포트를 이용하는데, 로봇팔은 카메라를 포함하여 3개만 이용하고, 다빈치로봇은 환자의 후방에서 45도 각도로 접근한다. University of Alabama At Birmingham의 Robert Cerfolio¹¹⁾는 개방창 없이 이산화탄소 주입을 하면서 로봇 폐수술을 진행하며, 로봇의 4개의 모든 팔을 이용하며, 수술 종료 후 폐엽을 꺼내기 위한 추가적인 상처확장을 시행하므로, 자동봉합기 사용이나 림프절 적출시에는 제한점이 따른다.

저자의 경우는¹⁴⁾ 로봇수술의 초기에는 비디오흉강경수술과 유사한 수의 포트를 유지하기 위하여 2개의 팔과 카메라만 이용했으나, 최근에는 5 mm 포트를 위한 기구들이 개발되어 로봇 팔 4개를 모두 사용하고 있다. 개방창은 5번째 유방하 절개를 따라 만들어지며 1개의 로봇 팔이 이 부위를 통하여 삽입된다. 카메라 포트와 나머지 2개의 로봇팔은 7번째 늑간의 동일선상에 삽입된다. 절제할 폐엽과 관계없이 좌/우측 모두 동일한 포트 위치를 갖는다. 로봇의 3번 팔에는 5 mm 기구 중 thoracic grasper 또는 bowel grasper를 사용할 수 있다(Fig. 1). 이렇게 모든 팔을 이용하면 제1조수의 도움을 최소화 할 수 있으므로, 제1조수는 자동봉합기를 사용하거나 가끔 흡인(suction)하는 정도의 일반 수행하면 된다. 카메라는 보통 30도 하방 카메라를 사용하는데, 이 자세에 카메라가 환자의 골반에 걸리고

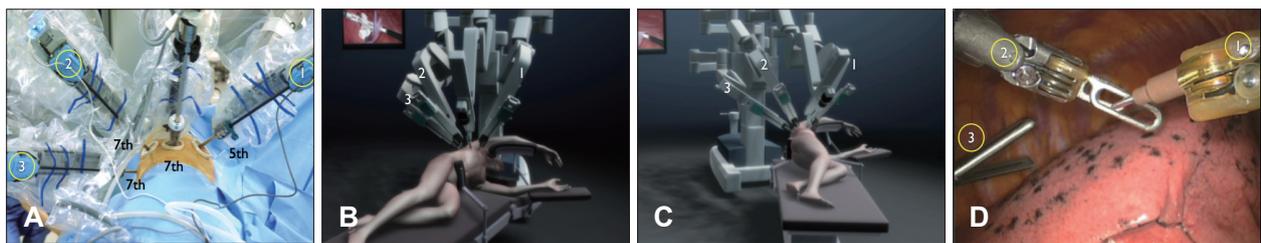


Fig. 1. Port placement for robot-assisted pulmonary resection. (A) Port placement. (B) Cart approach (anterior view), (C) Cart approach (foot view), (D) Three instruments in the thoracic cavity.

부딪히는 것을 최대한 방지하기 위해 허리 이하 부분에서 1차 례 더 꺾어서 reverse Trendelenberg position을 유지한다. 하지만 골반이 큰 여성의 경우에는 이러한 자세만으로 상기 문제가 해결되지 않기 때문에 0도 흉강경을 사용하면 골반과 카메라가 닿지 않고 수술을 시행할 수 있다.

로봇기구의 선택

로봇 기구의 경우 사용 횟수에 제한이 있고 고가이기에 선택과 사용에 신중을 기해야 한다. Forceps 역할을 하는 기구들은 모두 잡는 힘과 벌리는 힘이 기구마다 정해져 있는데, Cadiere forceps과 ProGrasp forceps는 모양은 같지만 Cadiere는 약한 정도의 잡는 힘, ProGrasp forceps는 중간 정도의 잡는 힘을 가지고 있어 그 사용 용도를 달리하여야 한다.

Atraumatic forceps의 역할을 하는 것으로 대표적으로 사용될 수 있는 것은 Cadiere forceps이며, 이 기구는 폐나 림프절 또는 혈관을 잡을 때, 조직의 손상이 크지 않을 정도로 비교적 안전하게 사용될 수 있으며, 전기소작 기능을 보완한 bipolar fenestrated forceps도 동일한 목적으로 사용될 수 있다. 조직을 강하게 잡고 견인해야 할 경우는 DeBakey forceps를 고려할 수 있으나, 조직을 잡은 힘이 강하므로 폐실질이나 혈관을 잡을 때에는 조직의 손상을 초래할 수 있으므로 신중히 사용하여야 하며, 이 경우는 전기소작 기능을 동반한 Maryland bipolar forceps이 대안으로 고려될 수 있다. 최근에는 중등도의 잡는 힘과 전기소작 기능을 고루 갖춘 curved bipolar dissector가 개발되어 있다. 저자의 경우는 bipolar fenestrated forceps, monopolar spatula type electrocautery 및 thoracic grasper의 3가지로 대부분 수술을 시행하며 상황에 따라 Maryland bipolar forceps 또는 curved bipolar dissector 등을 사용하기도 한다. 로봇에도 초음파 절삭기가 있으나, 초음파의 특성상 관절의 자유도를 구사할 수 없어 그 사용에 제한이 따른다. 그 외에도 needle drivers, Scalpel instrument, Endowrist curved scissors, Hot shears(monopolar curved scissors), permanent cautery hook type, Large Hem-o-loc clip applier, small clip applier 등 그 종류가 매우 다양하며 끊임없이 개발 중이다.

폐암에서 로봇수술방법 및 결과

각 외과의마다 포트의 위치가 다르므로 자동봉합기를 사용하는 경우 이용하는 포트도 모두 상이하다. Cerfolio¹¹⁾의 경우 이중캐놀라(double cannulae)를 사용하여 한 포트에 로봇팔을 장착하여 사용하다가 필요시 로봇팔을 빼고 내부 캐놀라를 제거한 후 자동봉합기를 사용하기도 한다. 전체적인 폐엽절제술의 과정은 이미 비디오흉강경을 시행한 외과의의 경우 본인만의 포트활용도가 모두 다를 것이다.

저자의 경우는¹⁴⁾ 상엽절제술의 경우 좌우 구분 없이 혈관은 주로 환자 후방에서 접근하여, 이 경우 등 뒤쪽의 로봇팔을 제거한 후 자동봉합기를 사용하고, 이후 다시 로봇팔을 장착한다. 하엽절제술의 경우 좌우 구분 없이 모두 개방창을 이용하여 자동봉합기를 사용할 수 있다. 우중엽절제술의 경우 폐정맥은 환자의 후방에서 접근하는 것이 편리하였고, 이외는 모두 개방창을 이용하여 자동봉합기를 사용한다. 자동봉합기의 사용을 줄이기 위해서 수술용 봉합사를 이용한 결찰이나, 로봇용 수술 클립 등을 사용할 수 있다.

림프절 절제술의 경우, 로봇의 특성상 시야가 10배나 확대되고, 손목처럼 움직이는 기구를 사용할 수 있어 흉강경 수술의 단점을 극복하여 보다 섬세한 박리를 시행할 수 있다. 분기하 림프절(subcarinal lymph node) 박리의 경우 시야 확보를 위해 심장을 압박하게 되는데, 로봇 카메라의 확대된 고화질의 시야는 조직의 견인을 최소화 한 상태에서도 림프절을 충분히 제거할 수 있어 술 중 활력징후의 변화를 줄일 수 있다. 4번째 팔을 이용할 경우, 5 mm 기구를 사용하여 폐나 기관지 또는 주위 혈관을 견인함으로써 시야를 적절히 확보할 수 있다(Table 1).

외과의사의 관점에서 보면 로봇수술이 개흉술이나 비디오흉강경수술에 비해 외과의의 피로도를 감소시키는 인체공학적 측면에서 우수하며, 수술시 손떨림을 최소화 할 수 있어 섬세한 박리를 시행할 수 있기는 그러나 3차원 영상에 대한 시각적인 피로도가 증가할 수도 있다. 수술비디오를 보면 흉강경 수술과 큰 차이는 없어 보이고 오히려 확대된 영상은 흉강 내 움직임이 불편해 보이게도 만든다. 하지만 3차원 영상에서의 수술은 2차원 영상에 비해 공간감 및 거리감을 구현해 주므로, 보다 안정된 수술을 가능하게 한다.

한편 환자의 입장에서 본 객관적인 자료들은 흉강경수술의 결과와 견주어 개흉술 전환율, 수술후 합병증 발생율, 재원기간 모두 유사한 수준이며 오히려 수술시간은 더 소요됨이 보고되었다(Table 2).

폐암에서 로봇수술의 학습곡선

개흉술을 시행하다가 비디오흉강경의 경험이 없이 바로 로봇수술을 시행하는 경우 약 20례 이후부터 수술시간이 줄어들어, 비디오흉강경 수술의 학습곡선보다 더 빨리 로봇수술을 익힐 수 있다는 보고가 있다.¹⁸⁾ 저자의 경우 비디오흉강경 수술의 경험이 있으나, 수술 술식을 정형화하고 수술을 일반적인 개흉술과 견줄 수 있을 정도까지는 약 50례의 경험을 필요로 하였다. 폐는 다른 장기와 달리 5개의 폐엽으로 구성되어 있으며, 각각의 폐엽절제술은 해부학적 구조에 따라 조금씩 다른 술식을 필요로 하므로, 각자의 경험과 여건에 따라 이 기간은 훨씬 단축될 수 있을 것이다.

Table 1. 폐암수술시 3 arms과 4 arms 로봇수술의 장단점

View	3 arms robotic surgery	4 arms robotic surgery
Surgeon	<ul style="list-style-type: none"> - Easy to perform during initial learning curve - Similar to VATS ports - More dependent to the assistant - Sometimes need two assistants 	<ul style="list-style-type: none"> - Need more spatial sense - Less dependent to the assistant - Control of retraction by surgeon - During stapling, can use two EndoWrist
Assistant	<ul style="list-style-type: none"> - Two instruments in the narrow space - Robotic arm contamination - Injury to the assistant with robotic arms - Collision between robotic arms and VATS instrument - Unstable insertion of endo-staplers 	<ul style="list-style-type: none"> - Increase of resting time - Focusing on the surgical procedure - Better ergonomics - No physical injury - Reducing collision
Patient	<ul style="list-style-type: none"> - Same or similar number of incisions as VATS - Confined to two intercostal spaces 	<ul style="list-style-type: none"> - Need one more 5 mm incision and instrument - Meticulous dissection with stable retraction of adjacent tissue whatever the surgeon wants - Rare possibility of conversion
Nurse	<ul style="list-style-type: none"> - Prepare more VATS instruments 	<ul style="list-style-type: none"> - Limited use of VATS instruments - Increase of resting time on sitting

Table 2. 로봇 폐엽절제술 문헌 보고

Authors	Year	No.	Conversion	Op. time (hour)	LOS (day)	Cx (%)	Mortality (%)
Melfi ¹⁵⁾	2005	23	2	3.2	5 (1.3)	NR	NR
Park ¹³⁾	2006	34	4	3.6 (2.6-5.9)	4.5 (2-14)	26	0
Anderson ¹⁶⁾	2007	31	0	3.6 (1.0-6.4)	4 (2-10)	27	0
Gharagozloo ¹⁷⁾	2008	100	0	4.0 (3.0-6.0)	4 (3-42)	21	3
Venonesi ¹⁸⁾	2010	54	7 (13%)	3.9 (2.4-8.5)	4.5 (3-24)	20	0
Giulianotti ¹⁹⁾	2010	38	6 (15.8%)	3.5 (1.8-6.3)	10 (3-24)	10.5	1
Cerfolio ¹¹⁾	2011	106	11 (10.4%)	2.2±1.0	2 (1-7)	27	0
Dylewski ^{20)*}	2011	200	3 (1.5%)	1.5 (30-279)	3 (1-44)	26	1.5
Lee ¹⁴⁾	2011	40	0	4.0±1.0	6 (4-22)	10	0
Overall		626	33 (5.3%)	3.3	4.8	20.1	0.7%

*: Benign diseases were included in this study

폐암에서 로봇수술의 장기생존율

최근 미국과 이탈리아에서 폐암로봇수술의 생존율에 대한 결과가 보고되었다.²¹⁾ 세 기관에서 폐암에 대해 로봇수술을 시행한 325명의 결과, 310명에서 임상적으로 1기 환자였고, 개흉술로의 전환이 8%(27/325)에서 있었다. 합병증은 25.2%에서 발생하였고 1명의 수술사망이 있었다. 병리학적 병기를 보면, IA가 54%, IB 22%, IIA 13%, IIB 5%, IIIA 6%로, 27개월 중간 추적관찰결과 전체 5년 생존율은 80%이고 병리학적 병기로 pIA에서 90%, pIB 88%, pII 49% 이었고, pIII의 3년 생존율이 43%이었다. 결론적으로 폐암에서 로봇폐엽절제술은 장기적으로도 개흉술이나 비디오흉강경수술과 견줄만한 장기성적을 갖는다고 보고하였다.

비 용

비용적인 측면은 직접비용, 간접비용 및 각국의 상이한 보험제도 등을 모두 고려하여야 하므로 훨씬 복잡하다. 미국보험체계는 보험회사가 입원비를 모두 지불하므로 로봇수술에 대한 비용을 보험에서 모두 부담한다. 일반적으로 재원기간이 긴 개

흉술이 가장 고가의 비용을 발생시키는 것으로 알려져 있다.²²⁾

하지만, 우리나라는 입원기간이 긴 개흉술이 오히려 보험적용이 가장 많이 되어 환자부담이 가장 적고, 비디오흉강경수술이나 로봇수술의 경우 병원수입은 비슷하지만, 환자의 부담금은 로봇의 경우 전액 환자가 부담해야 하기 때문에 수술료 자체만으로는 3배 정도, 환자부담금으로는 2배 정도 비싼 편이며, 이는 로봇 수술비용의 지불출처가 미국과 다른 상황이기에 발생하는 현상이다. 일본은 2009년 11월에 식약청의 승인을 얻었고 작년 한해 동안 다빈치 로봇의 설치가 급증하였으며, 현재는 기관에서 로봇비용을 부담하고 있지만, 로봇에 대한 적절한 증거가 마련되면, 보험수가가 수년 내에 확정되어 보편적으로 시행될 가능성이 많다.

결론 및 전망

흉부외과 영역에서의 로봇수술은 아직 도입 초기단계이므로, 폐암에서 로봇수술의 효용성과 그 의미를 미리 단정짓기는 이른 감이 있다. 그러나 로봇 수술 시스템이 갖는, 기존의 흉강

경 수술 시스템과 차별화되는 몇 가지 장점들은 외과의들이 이를 임상에 적용하고자 하는 동기를 부여하고 있다. 현재의 로봇수술 시스템이 갖고 있는 문제점인 수술 시간의 증가, 고가의 수술 비용, 고가의 수술 기구를 사용하는데 따른 선택의 제한점 등이 해결된다면 로봇수술은 현재보다 그 영역이 더 확대 될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- 1) Swanson S, Herndon J, D'Amico T, Demmy T, McKenna R, Green M, et al. Video-Assisted Thoracic Surgery Lobectomy: Report of CALGB 39802 A Prospective, Multi-Institution Feasibility Study. *J Clin Oncol* 2007;25:4993-7.
- 2) Walker W, Codispoti M, Soon S, Stamenkovic S, Carnochan F, Pugh G. Long-term outcomes following VATS lobectomy for non-small cell bronchogenic carcinoma. *Eur J Cardiothorac Surg* 2003;23:397-402.
- 3) Shigemura N, Akashi A, Funaki S, Nakagiri T, Inoue M, Sawabata N, et al. Long-term outcomes after a variety of video-assisted thoracoscopic lobectomy approaches for clinical stage IA lung cancer: a multi-institutional study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006;132:507-12.
- 4) Roviario G, Varoli F, Vergani C, Nucca O, Maciocco M, Grignani F. Long-term survival after videothoracoscopic lobectomy for stage I lung cancer. *Chest* 2004;126:725-32.
- 5) Sugi K, Kaneda Y, Esato K. Video-assisted thoracoscopic lobectomy achieves a satisfactory long-term prognosis in patients with clinical stage IA lung cancer. *World J Surg* 2000;24:27-31.
- 6) Yamamoto K, Ohsumi A, Kojima F, Imanishi N, Matsuoka K, Ueda M, et al. Long-Term Survival after Video-Assisted Thoracic Surgery Lobectomy for Primary Lung Cancer. *Ann Thorac Surg* 2010;89:353-9.
- 7) Yan T, Black D, Bannon P, McCaughan B. Systematic review and meta-analysis of randomized and nonrandomized trials on safety and efficacy of video-assisted thoracic surgery lobectomy for early-stage non-small-cell lung cancer. *J Clin Oncol* 2009;27:2553-62.
- 8) Cheng D, Downey RJ, Kernstine K, Stanbridge R, Shennib H, Wolf R, et al. Video-Assisted Thoracic Surgery in Lung Cancer Resection: A Meta-Analysis and Systematic Review of Controlled Trials. *Innovations* 2007;2:261-92.
- 9) Boffa D, Allen M, Grab J, Gaissert H, Harpole D, Wright C. Data from the Society of Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery database: the surgical management of primary lung tumors. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008;135:247-54.
- 10) Gopaldas R, Bakeen F, Dao T, Walsh G, Swisher S, Chu D. Video-assisted thoracoscopic versus open thoracotomy lobectomy in a cohort of 13,619 patients. *Ann Thorac Surg* 2010;89:1563-70.
- 11) Cerfolio R, Bryant A, Skylizard L, Minnich D. Initial consecutive experience of completely portal robotic pulmonary resection with 4 arms. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011;142:740-6.
- 12) Kernstine K, Anderson C, Falabella A. Robotic lobectomy. *Operative Techniques in Thoracic and Cardiovascular Surgery* 2008;204:e1-23.
- 13) Park B, Flores R, Rusch V. Robotic assistance for video-assisted thoracic surgical lobectomy: technique and initial results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006;131:54-9.
- 14) Jang H, Lee H, Park S, Zo J. Comparison of the Early Robot-assisted lobectomy experience to video-assisted thoracic surgery lobectomy for lung cancer: A single-institution case series matching study. *Innovations* 2011;6:305-10.
- 15) Melfi F, Ambrogi M, Lucchi M, Mussi A. Video robotic lobectomy. *MMCTS* 2005;1-10.
- 16) Anderson C, Hellan M, Falabella A, Lau C, Grannis F, Kernstine K. Robotic-Assisted Lung Resection for Malignant Disease *Innovations* 2007;2:254-8.
- 17) Gharagozloo F, Margolis M, Tempesta B, Strother E, Najam F. Robot-assisted lobectomy for early-stage lung cancer: report of 100 consecutive cases. *Ann Thorac Surg* 2009;88:380-4.
- 18) Veronesi G, Galetta D, Dipeng P, Melfi F, Schmid R, Borri A, et al. Four-arm robotic lobectomy for the treatment of early-stage lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010;140:19-25.
- 19) Giulianotti P, Buchs N, Caravaglios G, Bianco F. Robot-assisted lung resection: outcomes and technical details. *Interact CardioVasc Thorac Surg* 2010;11:388-92.
- 20) Dylewski M, Ohaeto A, Pereira J. Pulmonary resection using a total endoscopic robotic video-assisted approach. *Semin Thoracic Surg* 2011;23:36-42.
- 21) Park B, Melfi F, Mussi A, Maisonneuve P, DipEng, Spaggiari L, et al. Robotic lobectomy for non-small cell lung cancer (NSCLC): Long-term oncologic results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011 Nov 18. [Epub ahead of print].
- 22) Park B, Flores R. Cost comparison of robotic, video-assisted thoracic surgery and thoracotomy approaches to pulmonary lobectomy. *Thorac Surg Clin* 2008;18:297-300.