

폐암수술에 있어서 최소 침습 수술

조종호 · 최용수

성균관대학교 삼성서울병원 흉부외과

Minimally Invasive Thoracic Surgery in Lung Cancer Operation

Jong Ho Cho, Yong Soo Choi

Department of Thoracic Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

The progression to minimally invasive techniques has been almost a natural evolution of the use of video-assisted thoracic surgery (VATS) from the investigation of pleural diseases, such as pneumothorax, and pleural effusion. Surgical resection is the primary treatment for early-stage non-small cell lung cancer (NSCLC). Minimally invasive thoracic surgery has been extensively used in the field of lung cancer. As the procedure has evolved and been studied, thoracoscopic lobectomy has been demonstrated to be a safe and oncologically effective strategy in the surgical management of patients with early stage NSCLC. VATS is a minimally invasive technique that has many advantages in postoperative pain and recovery time. Most surgeons perform VATS for lung cancer with three or more incisions. As the technique of VATS has evolved, single- or double-port VATS for lung cancer has been recently attempted and its advantages have been reported.

Key Words: Lung Neoplasms; Surgical Procedures; Minimally Invasive; Thoracic Surgery

Correspondence to: Yong Soo Choi
우135-710, 서울시 강남구 일원로 81,
삼성서울병원 흉부외과
Department of Thoracic and Cardiovascular
Surgery Samsung Medical Center, Sung-
kyunkwan University School of Medicine,
81 Ilwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-710,
Korea
Tel: +82-2-3410-1369
Fax: +82-2-3410-6986
E-mail: choi.smcts@gmail.com

Received 28 November 2013
Revised 21 January 2014
Accepted 29 January 2014

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

흉강경 수술(video-assisted thoracic surgery, VATS)은 1910년 Jacobaeus가 흉강경을 고안하여 기흉 치료 목적으로 처음 사용한 이후 현재까지 많은 늑막 질환 이외에도 폐암 수술, 식도암 수술 등 대부분의 흉부외과 수술 영역에서 이용되고 있다[1-3]. 1992년에 Roviario 등과 Lewis 등이 폐암환자에서 흉강경 폐엽절제술을 안전하게 시행할 수 있다고 보고하였는데[4,5], 현재까지도 재발 및 장기 생존율 등 기존의 개흉술에 비해 종양학적 안전성에 여전히 논란이 많으나, 2007년 미국 Society of Thoracic Surgeons (STS) general thoracic surgery database (STS database)에 따르면, 원발성 폐암환자의 약 29%에서 비디오 흉강경 폐엽절제술이 시행되고 있었으며[6], 2011년 Danish Lung Cancer Registry에 따르면 병기 I 폐암환자 중 약 50%에서 흉강경을 이용하여 폐엽절제술이 시행되고 있을

정도로 널리 시행되고 있다[7].

국내에서는 1993년도에 양성 폐종양에서 흉강경을 이용한 폐엽절제술이 처음 시도되었으며[8], 2003년 폐암에서 흉강경을 이용한 폐엽절제술이 국내에서 최초로 시행된 이래로 현재까지 국내 대다수 상급종합병원의 흉부외과에서 비디오 흉강경 폐엽절제술이 시행되고 있다[9]. 삼성서울병원에서 시행되고 있는 폐암수술은 최근 2010부터 2012년까지 총 683예에서 887예까지 지속적으로 증가 추세에 있으며, 약 60%에 가까운 환자들에 있어서 흉강경을 이용한 폐암수술이 적용되고 있다(Fig. 1).

폐암환자에서 흉강경을 이용한 폐엽절제술은 개흉술에 비해 수술 후 통증조절의 향상, 조기 일상생활로의 복귀, 낮은 수술 후 합병증 및 사망률 등으로 인해 초기 폐암환자에서는 기존의 개흉술을 대신할 만한 최소 침습수술로 인정되고 있다[6,10]. 2013년에 발표된 American College of Chest Physicians evidence-based clinical

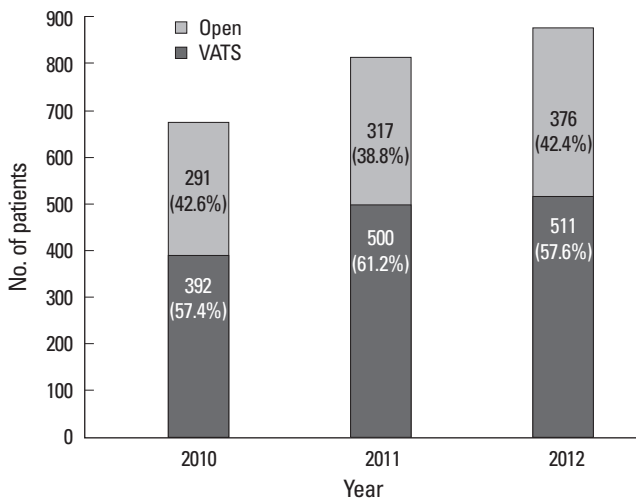


Fig. 1. Proportion of VATS lobectomy for non-small cell lung cancer in Samsung Medical Center from 2010 to 2012. VATS, video-assisted thoracic surgery.

cal practice guidelines에서는 병기 I 비소세포암 환자에 있어서 폐엽절제술이 필요한 경우 VATS로 시행되는 것이 개흉술로 시행되는 것보다 권장된다고 발표하였다[11].

본 론

1. 정의(definition)

The Cancer and Leukemia Group B (CALGB 39802)에 따른 흉강경을 이용한 폐엽절제술은 늑간을 벌리지 않고(no use of rib-spreading), 작업 절개창을 8 cm 이하로 절개하며, 폐정맥 및 폐동맥을 각각 박리하여 분리하며, 표준적인 림프절 절제를 시행하는 경우로 정의하였다[12]. 하지만 흉강경 수술의 비약적인 발전에도 불구하고 아직까지 표준화된 수술방법이 정립되어 있지 않으며 외과 의사마다 나름의 방법으로 조금씩 변형하여 수술을 시행하고 있다. 표준화를 위해서 고려되는 요소들로는 포트의 숫자, 작업 절개창의 위치 및 크기, 혈관 분리 방법, 림프절 절제 방법, 비디오 모니터를 보는 방법, 흉강경용 기구의 사용 유무 등이 있다.

2. 적응증(indication)

성공적인 흉강경 수술을 위해서는 적절한 환자 선택이 필수적이다. 환자의 전신상태, 체형, 종양의 위치 및 크기, 수술 술기의 복잡성(complexity) 등이 주요 고려대상이며 대체적으로 크기가 큰 종양이나 중심성 종양, 혈관 또는 중요 신경부위에 근접한 종양인 경우, 이전에 개흉술 또는 흉막유착술을 받은 경우에는 흉강경 수술 보다는 개흉술이 선호된다. 수술 장비의 발달과 수술 경험의 축적으로 인해 흉강경을 이용한 폐엽절제술의 적용 대상이 지속적으로 확대되고 있는데 현재까지 권장되고 있는 적응증은 1) 1기 비소세

포암에서 폐엽절제술이 필요한 경우, 2) 종양이 5-6 cm 이하인 경우, 3) 기관지성 폐암이 아닌 경우, 4) 일측폐 환기를 견딜 수 있는 충분한 폐기능을 가진 경우 등의 경우로 제한되어 있다. 하지만, 이 역시 일부 센터에서는 폐구역절제술(segmentectomy), 전폐절제술(pneumonectomy), 기관지 성형술(sleeve lobectomy), 흉벽 절제 및 재건술, 수술 전 항암 또는 방사선 치료를 받은 환자들의 경우에도 흉강경을 이용하여 수술이 시행되기도 한다[13]. 향후 이에 대한 전향적인 연구가 이루어져야 하겠지만, 일부 선택된 환자들에서 적용해 볼 수 있겠다.

하지만, 조기폐암이 아닌 진행성 병기의 폐암이나 수술 전 항암 방사선 치료를 받은 경우에는 일반적으로 흉강경을 이용한 폐엽절제술의 대상이 아니며, 흉부 단층 컴퓨터 촬영에서도 늑막 유착이 심하거나 석회화된 임파선이 폐혈관 주위에 심하게 붙어 있어서 박리가 용이하지 않는 경우에도 일반적으로 개흉술이 선호된다. 또한 일측 폐환기를 견딜 수 없는 폐기능이 좋지 않은 경우에도 흉강경 보다는 개흉술이 추천된다.

3. 수술 전후 고려사항(perioperative preparation)

흉강경 수술에 있어서 중요 인자 중 하나는 적절한 시야 확보로, 수술 도중 마취과 의사의 도움으로 일측 폐환기를 할 수 있어야 한다. 개흉술에서는 일측 폐환기가 잘 되지 않는 경우에도 견인 등의 다른 방법으로 수술이 가능하지만, 흉강경 수술에 있어서는 이러한 상황이 수술시간을 지연시키고 개흉술에 비한 장점이 상쇄될 수 있으므로 적절한 시야확보 부분은 흉강경 수술을 하는 데 고려해야 한다.

수술 전 자세 또한 흉강경 수술에 중요 인자가 된다. 물론, 개흉술이나 흉강경을 이용한 수술 모두 자세에 있어서 큰 차이 없이 중요하나, 특히 다빈치 로봇을 이용한 흉강경 수술(robot-assisted thoracoscopic surgery, RATS)의 경우 다빈치 수술로봇의 통합조절 카트의 위치가 제한되어 있으며, 포트들이 너무 가까우면 로봇팔들끼리 간섭이 일어나 수술이 어려워지는 경우가 있기 때문에 로봇팔 및 통합조절 카트 위치와 환자 자세의 조합이 로봇을 이용한 흉강경 수술의 주요 성공 요소로 볼 수 있다.

4. 수술기법(surgical techniques)

비디오 흉강경 폐엽절제술은 다양한 방법으로 시행되고 있다. 흉강경은 렌즈 구경에 따라 2 mm, 3 mm, 5 mm, 10 mm가 있으며 렌즈 각도에 따라 0도, 30도가 있다. 주요 흉부외과 수술에서는 5 mm 또는 10 mm의 30도 흉강경을 이용하여 수술하며, 앞에서 언급했듯이 일반적인 VATS 이외에도 다빈치 로봇을 이용한 흉강경 수술, 포트 개수에 따라 단일 포트를 이용한 흉강경(uni-portal VATS) 및 두 개 포트를 이용한 흉강경(Bi-portal VATS) 등 다양한 수술 방법이 있다. 대부분의 흉부외과 의사들은 3개 또는 4개 포트를 이용하

여 흉강경 수술을 시행하고 있으며, 2006년도에 McKenna 등은 3개 포트를 이용한 1,100예의 흉강경 폐엽절제술의 결과를 발표하였다[14]. D'amico 등은 2개 포트를 이용하여 약 500개의 흉강경 폐엽절제술의 결과를 발표하였으며 약 1.6%의 개흉술로의 전환율을 보고하였다[15]. Rocco 등이 2004년도에 단일공을 통한 흉강경 췌장절제술을 보고한 뒤이어[16], Gonzlaez 등이 100예 이상의 흉강경을 이용한 폐엽절제술의 경험을 발표하였으며, 최근엔 폐엽절제 및 혈관성형술(pulmonary angioplasty)이나 구역절제술(segmentectomy)까지 단일공을 이용하여 시행하기도 한다[17-19].

수술자에 따라 수술 순서 또한 차이가 있는데 McKenna, D'amico 등은 폐문부를 먼저 박리하는 폐문부접근법(hilar approach, single directional approach)으로서 폐동맥, 정맥, 기관지를 폐문부 안에서 먼저 처리한 다음 나중에 봉합기(stapler)를 사용하여 틈새(fissure)를 분리하는 방법을 소개하였으나 기존의 일반적인 방법으로 흉강경을 이용한 폐엽절제술을 시행해도 차이는 없다고 생각된다. 이러한 폐문부접근법의 장점으로는 틈새를 전기소작 등으로 따로 박리하지 않아도 되기 때문에 수술 후 공기 누출을 줄일 수 있으나, 이 방법을 이용하기 위해서는 폐의 해부학적 구조에 대한 충분한 지식과 경험이 있어야 한다. 폐암 수술에서 폐정맥, 폐동맥, 기관지의 순서로 분리를 하는 것이 일반적이며 흉강경을 이용한 경우에도 동일한 순서를 적용하는 것이 바람직하다. 해부학적으로도 폐정맥을 먼저 분리하고 다음에 폐동맥을 분리하는 것이 용이하다.

최근 전 세계 50개국 흉부외과 전문가들을 대상으로 한 설문조사 결과에 따르면, 대략 초기 학습곡선(learning curve)를 극복하기 위해서 약 50개 흉강경 폐엽절제술의 증례가 필요하며, 이러한 흉강경 술기를 유지하려면 연간 20개 이상의 증례가 필요하다고 보고하였다[20]. Ferguson 등이 시행한 연구에서도 흉강경 수술을 위해서 약 50개의 증례가 필요하다고 하였다[21].

앞서 언급되었지만 로봇을 이용한 흉강경 수술 또한 일부 의사들에 의해 상당수 시행되고 있다. 다빈치 로봇 시스템은 수술의가 고해상도 3차원 입체영상을 보면서 수술을 진행할 수 있고, 수술기구가 사람의 손목처럼 양손을 모두 자유롭게 움직일 수 있어 마치는 앞에서 실제로 수술하는 것과 동일한 움직임을 구현할 수 있다. 더욱이 손떨림을 보정하여 안전한 절제를 가능하게 하였으나 폐절제술에 있어서는 아직까지 여러 가지 제한점으로 인하여 다빈치 로봇의 이용이 많지 않은 상태이다. 현재까지 다빈치 로봇을 이용한 폐엽절제술과 개흉 또는 흉강경을 이용한 폐엽절제술의 결과에 대한 대규모 무작위 대조 연구가 시행되지 않아 로봇 수술의 암 수술 방법으로서의 적합성 등에 대해서는 자료가 부족한 상태이나 일반적인 흉강경의 수술에 비해 장점이 뚜렷하지 않다. 더욱이 정형화된 술기의 개발과 폐절제에 적합한 기구의 개발, 자동봉합기(endoscopic stapler)의 소형화 필요성, 고비용의 문제 등의 과제가 해결되어야 다빈치 로봇의 시행 횟수가 증가할 것으로 생각된다.

5. 종양학적 결과(oncologic outcomes)

폐암 수술에 있어서 흉강경 수술의 적용이 기존의 개흉술과 비교하여 종양학적인 측면에서 많은 논란이 되어 왔다[22]. 특히 흉강경 폐엽절제술이 폐암 수술로서 인정받기 위해서는 원칙적으로 림프절을 표본절제(sampling)하던지 완전절제(complete dissection)에 상관없이 개흉술과 기술적으로 차이가 없어야 한다[23-25]. 이와 별도로 종양학적인 면에 있어서 생존율 및 재발률의 차이를 언급하지 않을 수 없다. 2009년 Yan 등이 발표한 메타분석 결과분석에서 조기 폐암에 있어서 생존율(overall mortality) 및 국소 재발률(loco-regional recurrence)에서 개흉술에 비해 흉강경을 시행한 환자에서 더 낮거나 비슷한 결과를 보고하였다[26]. 또한 이러한 논란은 흉강경 수술로 폐암의 해부학적 완전절제 및 종격동 림프절 절제가 충분히 가능한지 여부에 달려 있는데, 흉강경은 수술시야의 확대된 영상을 통해 이를 용이하게 해 주는 장점도 있다. 일부 보고에 따르면 흉강경 수술로 종격동 림프절 절제를 한 후 남아 있는 림프조직은 2-3%에 불과하여 1기의 비소세포 폐암의 수술로는 적합하다는 결론을 내렸다[27,28]. 이와 함께, 흉강경을 이용한 폐암 수술의 경우 빠른 회복을 통해 고위험군 및 수술 후 항암치료가 필요한 환자들에 있어서 수술 후 조기에 치료 적용이 가능하여 이러한 환자들에 있어서 장점이 되기도 한다[29,30].

6. 수술 후 합병증(postoperative complications)

폐암의 수술 합병증은 여러 가지가 있으나 대부분의 주요 합병증은 지속적인 폐경기 누출이다. 폐절제술을 시행한 후 폐의 장축 흉막에 손상이 있어 공기가 폐에서 흉강으로 누출되는 경우를 말하는데 대부분의 경우에는 5일 이내에 모든 공기가 멎어 흉관을 제거할 수 있으나 유착이 심한 경우에는 공기 누출이 7일 이상 지속될 수 있어서 이런 경우에는 흉막 유착술로 공기 누출 기간을 줄일 수 있다. 다른 합병증으로는 수술 후 발생하는 폐렴 등의 감염성 질환으로 이 경우 적절한 항생제 및 기침, 인스피로미터 등을 통한 적극적인 호흡관리를 시행한다. 심한 경우에는 급성호흡곤란 증후군(acute respiratory distress syndrome, ARDS)으로 발전할 수 있으며 이런 경우에는 장기간 인공호흡기 치료가 필요할 수 있으며, 사망률 또한 높아 수술 후 세심한 호흡관리가 중요하다. 최근 발표된 미국 STS database 결과에 따르면 이러한 공기 누출 및 폐렴 등의 호흡기계 합병증에 있어서 흉강경 폐엽절제술은 기존 개흉술과 비슷한 결과를 보고하고 있으며, 재삽관(reintubation) 및 심혈관계 합병증(부정맥 등)에서는 더 나은 결과를 보였다[6]. 독일에서 발표된 연구 결과에 따르면 흉강경으로 시행한 경우 개흉술에 비해 유의하게 합병증이 낮았으며[31], Kirby 등 또한 개흉술보다 흉강경 폐엽절제술의 경우 공기 누출이 유의하게 적은 것으로 발표하였다[32].

수술 후 통증 감소는 비디오 흉강경을 이용한 수술방법의 장점으로 보고되고 있는데 특히 수술 후 급성 통증에 대한 감소에 대해

경막의 마취 거치기간 감소 및 수술 후 마약성 진통제 및 경구 진통제의 유의한 감소가 보고되고 있다[33]. 흉강경 수술의 경우 낮은 시각적 통증 척도 및 마약성 진통제의 사용 총량, 추가적인 마약성 진통제의 사용, 경구 진통제 사용 횟수를 유의하게 줄일 수 있었다고 보고하였다[34]. 많은 보고에서 흉강경을 이용한 폐엽절제술의 경우 수술 후 빠른 폐기능의 회복을 보고하였으며[35,36], 흉관 거치 기간, 수술 후 폐기능, 입원 기간 등에서 흉강경이 개흉술에 비해 나은 결과를 보여주고 있다[26,37]. Giudicelli 등은 흉강경을 이용한 폐엽절제술과 근육보존 흉곽절제술의 경우 수술 후 폐기능의 검사에서 유의한 차이가 없다고 보고하였다[38]. 더욱이 흉강경 폐엽 수술은 개흉술에 비해 흉곽 절제를 최소화하기 때문에 자연살해 세포(natural killer cell, NK cell) 등에 의한 세포성 면역반응(cellular immune response)과 활성화산소(active oxygen)에 의한 산화스트레스(oxidative stress)도 감소시켜 수술 후 스트레스를 줄여주는 것으로 알려져 있다[39].

7. 현재 흉강경 수술 경향 및 미래(current thoracoscopic surgery trends and future)

기존의 흉강경 수술은 3개 혹은 4개의 포트를 삽입하여 수술이 진행된다. 최근 시작된 단일공 흉강경 수술이 많이 보급되고 있고 저자들도 2013년 4월부터 단일공 흉강경을 통해 폐엽절제술 및 췌장 절제술 등을 시행하고 있고 차츰 그 빈도 및 적응증 또한 확장하여 시행하고 있다. 단일공 흉강경 수술의 단점은 수술기구를 같은 포트를 이용해 삽입하므로 수술 중 기구들이 충돌을 일으켜 자유로운 움직임이 방해되어 수술이 복잡하고 기술적으로 어려움이 발생하여 수술시간이 길어질 수 있다는 것이다. 다공법(3개 또는 4개 포트를 이용한 흉강경)과 단일공의 증례가 각각 그 임상적 정도의 차이를 보이고, 시술자가 다르기 때문에 직접적인 비교는 어려우나, 구부러지는 흉강경 기구의 사용, 5 mm 30도 흉강경 사용 등의 기구적 측면의 도움과 시술자의 학습곡선이 형성된다면 앞서 언급된 단일공의 제한점들을 극복할 수 있을 것이다. 또한 Xu 등은 이를 뛰어넘는 차세대 수술 시스템으로 insertable robotic effector platform (IREP)를 디자인 및 개발하였다[40]. IREP는 단일 포트 흉강경 자체를 로봇시스템으로 만들어 흉강경 끝 부분에서 카메라시스템, 겸자, 소작기 등 3-4개의 수술기구가 나올 수 있는 미래 시스템을 디자인하였지만 아직 실제 수술 적용에까지는 상당한 시간이 필요할 것으로 보인다.

결 론

흉강경 수술을 이용한 폐암 수술은 개흉술에 비해 한계점이 있으나 수술 후 합병증이 적고, 조기 폐암의 경우 암치료 면에 있어서 개흉술과 대등한 위치까지 와 있으나 대상군, 수술 방법의 표준화,

림프절 절제, 생존율, 재발률 등에 있어 논란이 있기 때문에 향후 다 기관 무작위 배당 연구가 필요할 것으로 보인다. 하지만, 어떤 경우에 흉강경 폐엽절제술을 시도할 수 있는가의 문제는 다분히 수술자의 경험에 따라 많이 달라질 수 있다. 흉강 내의 유착이나 림프절의 종대, 중심부에 위치한 병변 등 흉강경 수술의 어려움이 예측되는 경우에도 수술자의 지속적인 노력 및 경험에 따라 이를 충분히 극복할 수 있는 경우도 있다. 폐암에서의 흉강경 폐엽절제술은 기관과 수술자에 따라 다양한 정도로 시도되고 있고, 흉강경 수술도 폐엽절제술의 하나이니만큼 종양학적 수술의 원칙에 위배되지 않고, 안전하게 시행될 수 있다면 언제라도 선택될 수 있는 하나의 시술 방법이라 할 수 있겠다.

REFERENCES

- Jacobaeus HC. The cauterization of adhesions in artificial pneumothorax treatment of pulmonary tuberculosis under thoracoscopic control. *Proc R Soc Med* 1923;16:45-62.
- Braimbridge MV. The history of thoracoscopic surgery. *Ann Thorac Surg* 1993;56:610-4.
- Wakabayashi A. History of thoracoscopic surgery in Japan and the world. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2009;57:64-70.
- Roviaro G, Rebuffat C, Varoli F, Vergani C, Mariani C, Maciocco M. Videoendoscopic pulmonary lobectomy for cancer. *Surg Laparosc Endosc* 1992;2:244-7.
- Lewis RJ, Sisler GE, Caccavale RJ. Imaged thoracic lobectomy: should it be done? *Ann Thorac Surg* 1992;54:80-3.
- Paul S, Altorki NK, Sheng S, Lee PC, Harpole DH, Onaitis MW, et al. Thoracoscopic lobectomy is associated with lower morbidity than open lobectomy: a propensity-matched analysis from the STS database. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010;139:366-78.
- Licht PB, Jorgensen OD, Ladegaard L, Jakobsen E. A national study of nodal upstaging after thoracoscopic versus open lobectomy for clinical stage I lung cancer. *Ann Thorac Surg* 2013;96:943-9; discussion 9-50.
- Yoon YH, Lee DY, Kim HH, Bae GM. Lobectomy with video-assisted thoracoscopic surgery. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 1993;26:236-40.
- Kim K, Kim HK, Park JS, Chang SW, Choi YS, Kim J, et al. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: single institutional experience with 704 cases. *Ann Thorac Surg* 2010;89:S2118-22.
- Lee HS, Lee JW, Kim KI, Cho SW, Park SJ, Kim HS, et al. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: experience with 36 cases. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 2009;42:732-7.
- Howington JA, Blum MG, Chang AC, Balekian AA, Murthy SC. Treatment of stage I and II non-small cell lung cancer: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2013;143:e278S-313S.
- Swanson SJ, Herndon JE 2nd, D'Amico TA, Demmy TL, McKenna RJ Jr, Green MR, et al. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: report of CALGB 39802--a prospective, multi-institution feasibility study. *J Clin Oncol* 2007;25:4993-7.
- Zhu M, Fu XN, Chen X. Lobectomy by video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) for early stage of non-small cell lung cancer. *Front Med* 2011; 5:53-60.
- McKenna RJ Jr, Houck W, Fuller CB. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: experience with 1,100 cases. *Ann Thorac Surg* 2006;81:421-5;

discussion 5-6.

15. Onaitis MW, Petersen RP, Balderson SS, Toloza E, Burfeind WR, Harpole DH Jr, et al. Thoracoscopic lobectomy is a safe and versatile procedure: experience with 500 consecutive patients. *Ann Surg* 2006;244:420-5.
16. Rocco G, Martin-Ucar A, Passera E. Uniportal VATS wedge pulmonary resections. *Ann Thorac Surg* 2004;77:726-8.
17. Gonzalez-Rivas D, Delgado M, Fieira E, Mendez L. Single-port video-assisted thoracoscopic lobectomy with pulmonary artery reconstruction. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2013;17:889-91.
18. Gonzalez-Rivas D, Fieira E, Mendez L, Garcia J. Single-port video-assisted thoracoscopic anatomic segmentectomy and right upper lobectomy. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012;42:e169-71.
19. Gonzalez D, de la Torre M, Paradela M, Fernandez R, Delgado M, Garcia J, et al. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: 3-year initial experience with 200 cases. *Eur J Cardiothorac Surg* 2011;40:e21-8.
20. Yan TD, Cao C, D'Amico TA, Demmy TL, He J, Hansen H, et al. Video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy at 20 years: a consensus statement. *Eur J Cardiothorac Surg*. Forthcoming 2013.
21. Ferguson J, Walker W. Developing a VATS lobectomy programme--can VATS lobectomy be taught? *Eur J Cardiothorac Surg* 2006;29:806-9.
22. Andrade RS, Maddaus MA. Thoracoscopic lobectomy for stage I non-small cell lung cancer. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2010;22:14-21.
23. Nicastrì DG, Wisnivesky JP, Litle VR, Yun J, Chin C, Dembitzer FR, et al. Thoracoscopic lobectomy: report on safety, discharge independence, pain, and chemotherapy tolerance. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008;135:642-7.
24. Demmy TL, Nwogu C. Is video-assisted thoracic surgery lobectomy better? Quality of life considerations. *Ann Thorac Surg* 2008;85:S719-28.
25. Shaw JP, Dembitzer FR, Wisnivesky JP, Litle VR, Weiser TS, Yun J, et al. Video-assisted thoracoscopic lobectomy: state of the art and future directions. *Ann Thorac Surg* 2008;85:S705-9.
26. Yan TD, Black D, Bannon PG, McCaughan BC. 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.
27. Watanabe A, Koyanagi T, Ohsawa H, Mawatari T, Nakashima S, Takahashi N, et al. Systematic node dissection by VATS is not inferior to that through an open thoracotomy: a comparative clinicopathologic retrospective study. *Surgery* 2005;138:510-7.
28. Sagawa M, Sato M, Sakurada A, Matsumura Y, Endo C, Handa M, et al. A prospective trial of systematic nodal dissection for lung cancer by video-assisted thoracic surgery: can it be perfect? *Ann Thorac Surg* 2002;73:900-4.
29. Mun M, Kohno T. Video-assisted thoracic surgery for clinical stage I lung cancer in octogenarians. *Ann Thorac Surg* 2008;85:406-11.
30. Petersen RP, Pham D, Burfeind WR, Hanish SI, Toloza EM, Harpole DH Jr, et al. Thoracoscopic lobectomy facilitates the delivery of chemotherapy after resection for lung cancer. *Ann Thorac Surg* 2007;83:1245-9; discussion 50.
31. Hokschi B, Ablassmaier B, Walter M, Muller JM. Complication rate after thoracoscopic and conventional lobectomy. *Zentralbl Chir* 2003;128:106-10.
32. Kirby TJ, Rice TW. Thoracoscopic lobectomy. *Ann Thorac Surg* 1993;56:784-6.
33. Sugiura H, Morikawa T, Kaji M, Sasamura Y, Kondo S, Katoh H. Long-term benefits for the quality of life after video-assisted thoracoscopic lobectomy in patients with lung cancer. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 1999;9:403-8.
34. Walker WS. Video-assisted thoracic surgery (VATS) lobectomy: the Edinburgh experience. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1998;10:291-9.
35. Nakata M, Saeki H, Yokoyama N, Kurita A, Takiyama W, Takashima S. Pulmonary function after lobectomy: video-assisted thoracic surgery versus thoracotomy. *Ann Thorac Surg* 2000;70:938-41.
36. Nomori H, Horio H, Naruke T, Suemasu K. What is the advantage of a thoracoscopic lobectomy over a limited thoracotomy procedure for lung cancer surgery? *Ann Thorac Surg* 2001;72:879-84.
37. Li WW, Lee RL, Lee TW, Ng CS, Sihoe AD, Wan IY, et al. The impact of thoracic surgical access on early shoulder function: video-assisted thoracic surgery versus posterolateral thoracotomy. *Eur J Cardiothorac Surg* 2003;23:390-6.
38. Giudicelli R, Thomas P, Lonjon T, Ragni J, Morati N, Ottomani R, et al. Video-assisted minithoracotomy versus muscle-sparing thoracotomy for performing lobectomy. *Ann Thorac Surg* 1994;58:712-7; discussion 7-8.
39. Whitson BA, D'Cunha J, Andrade RS, Kelly RF, Groth SS, Wu B, et al. Thoracoscopic versus thoracotomy approaches to lobectomy: differential impairment of cellular immunity. *Ann Thorac Surg* 2008;86:1735-44.
40. Ding J, Goldman RE, Xu K, Allen PK, Fowler DL, Simaan N. Design and coordination kinematics of an insertable robotic effectors platform for single-port access surgery. *IEEE ASME Trans Mechatron* 2013;1612-24.