

## 수술로봇을 이용한 심장수술 첫 체험

조성우\* · 정철현\* · 김경선\* · 주석중\* · 송 현\* · 송명근\* · 이재원\*

### Initial Experience of Robotic Cardiac Surgery

Sung Woo Cho, M.D.\*, Cheol Hyun Chung, M.D.\*, Kyoung Sun Kim, R.N.\*, Suk Jung Choo, M.D.\*  
Hyung Song, M.D.\*, Meong Gun Song, M.D.\*, Jae Won Lee, M.D.\*

**Background:** In general, cardiac surgery has been performed via median sternotomy. During the past decade, improvements in endoscopic equipment and operative techniques have resulted in development of minimally invasive cardiac operation using small incisions. With the advent of a voice controlled camera-holding robotic arm (AESOP 3000, Automated Endoscope System for Optimal Positioning), cardiac surgery entered the robotic age. **Material and Method:** Between April 2004 and December 2004, a total of seventy eight patients underwent robotic cardiac surgery, of whom sixty four patients underwent robot-assisted minimally invasive cardiac surgery via 5cm right lateral minithoracotomy using voice controlled robotic arm, femoral vessels cannulation, percutaneous internal jugular cannulation, transthoracic aortic cross clamp. Other fourteen patients underwent MIDCAB via internal mammary artery harvesting using AESOP. **Result:** Robotic cardiac surgery were mitral valve repair in 37 cases, mitral valve replacement in 10 cases, aortic valve replacement in 1 case, MIDCAB in 14 cases, ASD operation in 9 cases, and isolated Maze procedure in 1 case. In mitral operation, mean CPB time was  $165.3 \pm 43.1$  minutes and mean ACC time was  $110.4 \pm 48.2$  minutes. Median length of hospital stay was 6 days (range 3 to 30) in mitral operation, 4 days (range 2 to 7) in MIDCAB, and 4 days (range 2 to 6) in ASD operation. For complications, 3 patients were required by reoperation for bleeding. There was no hospital mortality. **Conclusion:** Our experience of robot cardiac surgery suggests that many cardiovascular surgeons will be able to perform minimally invasive cardiac operations through small incisions with robot-assisted video-direction. Well-designed studies and close long-term follow-up will be required to analyze the benefits of robot-assisted operation.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2005;38:366-370)

**Key words:** 1. Robotics  
2. Minimally invasive surgery  
3. Heart surgery

### 서 론

일반적으로 심장수술은 정중흉골절개를 통해 행해져 왔다. 정중흉골절개는 넓고 확실한 수술 시야를 확보할 수 있는 장점이 있어 인공심폐기를 사용하는 심장 수술의 표

준 심장접근법으로 사용되어왔다. 과거 십 년간 내시경 장비와 기술의 향상으로 작은 절개를 이용한 최소 침습적 심장수술이 발전하면서 환자의 빠른 회복, 짧은 입원기간, 수술 후 통증 감소, 미용적인 효과 등의 우수한 결과들을 보고하기 시작하였다. 술자의 음성 명령을 인식하여 내시

\*울산대학교 서울아산병원 흉부외과학교실

Department of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Asan Medical Center, University of Ulsan

†본 논문은 대한흉부외과학회 제36차 추계학술대회에서 구연되었음.

논문접수일 : 2005년 2월 21일, 심사통과일 : 2005년 4월 9일

책임저자 : 이재원 (138-736) 서울시 송파구 풍납동 388-1, 서울아산병원 흉부외과

(Tel) 02-3010-3580, (Fax) 02-3010-6966, E-mail: jwlee@amc.seoul.kr

본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.



Fig. 1. The AESOP robotic arm (Automated Endoscope System for Optimal Positioning).

경을 움직이는 로봇 팔의 등장으로 심장수술은 로봇 시대에 진입하였다(Fig. 1). 본 교실에서는 2004년 4월부터 이 수술로봇을 사용하여 심장수술을 시행하였고 그 결과를 보고하는 바이다.

### 대상 및 방법

2004년 4월부터 12월까지 총 78명의 환자에게 수술로봇(AESOP)을 이용한 심장수술을 시행하였고 수술적응질환은 승모판 질환, 삼첨판 질환, 대동맥 질환, 심방중격결손증, 심방세동이었고 단일 및 이중 관상동맥 질환의 최소 침습적 관상동맥 우회술시 내흉동맥 박리에 사용되었다. 판막 수술은 환자를 이중관 기관 삽관을 이용하여 전신마취 후 우측 경정맥에 경피적으로 정맥관 삽관(Medtronic, Inc, Minneapolis, MN)을 하고 양와위에서 오른쪽을 30도 정도 올려 눕히고 우측 서혜부 1~2 cm 절개를 하여 우측 대퇴 동정맥을 노출시킨 후 Seldinger technique으로 동정맥관(Medtronic, Inc, Minneapolis, MN)을 삽입하여 체외순환을 준비하였다. 좌측 일측 폐환기를 시행한 후 우측 제4 늑간을 4~5 cm 횡 절개하여 늑막강에 도달한 후 횡경막 신경에 유의하면서 심낭을 절개하고 고정하여 우심방과 대동맥을 노출시켰다. 제3 늑간으로 수술로봇으로 조정되는 흉강경을 삽입하고 제2 늑간으로 Chitwood 대동맥 겹자를 삽입하여 대동맥을 차단 후 상행대동맥에 심장보호액을 주입하고 심장을 열고 좌심방 견인기를 설치한 후 판막을 흉강경하에서 노출시키고 판막수술을 시행하였다. MIDCAB은 환자를 이중관 기관 삽관을 이용하여 전신마

Table 1. Robotic cardiac surgery

Robotic cardiac surgery	No. of patients
Mitral valve surgery	53
MVP	37
MVP+Maze op	14
MVP+Maze op+TAP	5
MVP+TAP	4
MVR	10
MVR+Maze op	8
MVR+Maze op+TAP	2
MIDCAB	14
ASD closure	9
Isolated Maze operation	1
Aortic valve replacement	1

MVP=Mitral valvuloplasty; MVP=Mitral valve replacement; TAP=Tricuspid annuloplasty; MIDCAB=Minimal invasive coronary artery bypass; ASD=Atrial septal defect.

취 후 양와위에서 왼쪽을 30도 정도 올려 눕히고 우측 일측 폐환기를 시킨 후 전 액와선을 따라 제4 늑간을 통해 흉강경을 삽입하여 AESOP에 고정하고 제3 늑간과 6 늑간에 기구가 들어가는 구멍을 내어 흉강경 화면을 보면서 좌측 내흉동맥을 첫 번째 늑골부터 5번째 늑간까지 박리하였다. 심낭을 절개하여 좌전하행지를 노출시키고 문합 부위를 확인한 후 그 부위에 맞는 늑간을 통해 좌전소개 흉술을 시행하고 시야확보를 위해 늑연골을 제거하고 헤파린(2 mg/kg)을 투여한 후 박리한 내흉동맥 원위부를 분리하여 우회하고자 하는 좌전하행지나 대각 분지에 8-0 polypropylene으로 문합을 시행하였다. 통증 조절을 위해 경막외 자가 통증 조절장치(epidural PCA)와 냉동장치를 이용하여 늑간 신경 차단술을 시행하였고 MIDCAB을 제외한 모든 환자에게 수술 중에 경식도 초음파로 심장기능, 판막기능 등을 측정하였다.

### 결 과

총 78명의 평균 나이는 43.6±15.1세였고 남녀비는 남자가 42명, 여자가 36명이였다.

승모판막 성형술이 37예, 승모판막 치환술이 10예, MIDCAB이 14예, 심방중격결손증 수술이 9예, Maze 수술만 시행한 경우가 1예, 대동맥판막 치환술이 1예였다. 승모판 수술과 동시에 시행한 수술은 삼첨판륜 성형술이 11예, Maze 수술이 23예였다(Table 1). 이전에 정중흉골절개

**Table 2.** Mitral valve repair techniques

Techniques	Cases
Annuloplasty	42
NCF	17
Q/T resection	14
Commissural repair	9
AMVL extension	3
Commissurotomy	7
PMVL mobilization	7

NCF=New chordae formation; Q/T=Quadrangular/triangular; AMVL=Anterior mitral valve leaflet; PMVL=Posterior mitral leaflet.

를 통한 개심술을 받은 후의 승모판 질환에 대한 재수술의 경우가 3명 있었다. 승모판 질환은 승모판 폐쇄부전이 47명, 승모판 협착증이 6명이었고 원인별로 보면 퇴행성이 29명, 류마티성이 17명, 심내막염이 5명이었다. 승모판막 성형술에서 사용한 술기는 다음과 같다(Table 2). MID CAB은 단일 관상동맥 질환이 12명, 이중 관상동맥 질환이 2명이었다. 승모판 수술인 경우 평균 체외순환시간은  $165.3 \pm 43.1$ 분, 평균대동맥 차단시간은  $110.4 \pm 48.2$ 분이었고 단독 승모판 수술인 경우 평균 체외순환시간은  $162.1 \pm 48.2$ 분, 평균대동맥 차단시간은  $103.2 \pm 38.4$ 분이었다. 술 후 재원 기간은 승모판 수술인 경우 6일(3~30일), MID CAB은 4일(2~7일), 심방중격결손증 수술은 4일(2~6일)이었다(Table 3). 합병증으로는 술 후 출혈로 재수술한 경우가 3명이었고 뇌경색, 대동맥 박리, 판막주위 유출, 흉골절개로의 전환 등은 생기지 않았고 사망환자는 없었다. 술 후 출혈로 재수술한 경우가 3명 모두 늑막유착이 있었던 경우였고 늑막유착을 박리한 부위에서 출혈이 있었다.

## 고 찰

기존의 심장수술은 정중 흉골 절개를 통한 심장 접근법이 주종을 이루고 있는데 이 방법은 상처를 많이 남길 뿐 아니라 수술 후 회복과 관련하여 병원 재원 일수를 연장시키는 원인이 되기도 한다. 1996년 이후 최소침습적 심장수술방법들이 발전하면서 만족스러운 결과들을 보고하기 시작하였다[1-3]. 일반외과, 산부인과, 비뇨기과 등 여러 분야의 수술에서 사용하기 시작한 내시경 장비와 기술의 비약적인 발전에 힘입어 심장수술에도 도입되면서 내시경의 도움을 받아(Video-assisted) 더 작은 절개를 통해

**Table 3.** Perioperative data

	CPB time (min)	ACC time (min)	LOS (day)
Mitral valve surgery			
Total	$165.3 \pm 43.1$	$110.4 \pm 28.4$	6 (3~30)
Isolated	$162.1 \pm 48.2$	$103.2 \pm 38.4$	5 (3~15)
ASD closure	$101.7 \pm 46.2$	$51.7 \pm 45.3$	4 (2~6)
MIDCAB			4 (2~7)

CPB=Cardiopulmonary bypass; ACC=Aortic cross clamp; LOS=Length of hospital stay (median); ASD=Atrial septal defect; MIDCAB=Minimal invasive coronary artery bypass.

수술이 가능하게 되었다. 처음에는 내흉동맥 박리나 선천성 심장 수술에 내시경을 이용하다 승모판 수술에도 도입되었다[4-7].

1997년 등장한 심장수술로봇 AESOP 3000은 술자의 움직임을 인식하여 로봇이 수술 내시경을 이동시켜, 술자가 보이지 않는 곳을 보여 주는 자동화된 장비로 과거의 기술로는 수술할 수 없는 작은 상처를 통해 수술이 가능하게 하였고 좋은 수술 결과들이 보고되었다[8-11]. 이 로봇을 이용하여 20~30배 정도로 확대된 시야에서 정확한 조명하에 수술부위의 심장 구조물을 정확히 확인하고 정확히 교정할 수 있다. 또 떨림이 없는 안정적인 화면을 제공하고 내시경을 닦아 내는 행위가 덜 필요하고 수술인력을 줄일 수 있고 나아가 수술 전체과정을 내시경 화면으로만 수행할 수 있게 하는 장점을 가지고 있다[12]. 수술로봇을 이용한 심장수술의 적응 질환을 보면 승모판 질환, 삼첨판 질환, 대동맥판막 질환, 심방중격결손증, 심방세동 등이 있으며 관상동맥 수술 시 내흉동맥 박리에 사용한다. 이전에 정중흉골절개를 통한 개심술을 받은 후의 승모판 질환에 대한 재수술의 경우가 3명 있었는데 심장 유착을 비교적 쉽게 심장 손상 없이 박리할 수 있었다. 이러한 우리의 경험으로 볼 때 반복되는 정중흉골절개에 의한 심장 손상의 위험이 크다고 판단되는 경우에 로봇을 이용한 판막 수술을 고려해 볼 수 있겠다. 로봇을 이용한 승모판막 수술의 금기증은 전에 우측 개흉술을 받은 경우, 심한 폐동맥 고혈압(폐동맥 수축기압이 60 mmHg 이상인 경우), 승모판륜에 심한 석회화가 있는 경우, 관상동맥 우회술을 같이 해야 하는 경우, 출혈성 질환이 있는 경우, 간기능 이상, 신부전, 30일 이내에 뇌경색이 있었던 경우, 30일 이내에 심근 경색이 있었던 경우, 의미 있는 대동맥판 이나

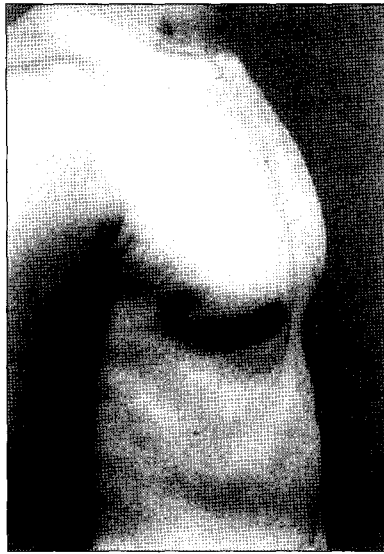


Fig. 2. Postoperative result of skin incision.

삼천관 병변을 동반한 경우 등을 들 수 있다. 이 급기증 중에서 전에 우측 개흉으로 승모판 수술을 받았던 환자의 재수술을 시행하였는데 늑막유착이 심하지 않아 어려움 없이 수술을 할 수 있었고 폐동맥압이 심하게 높았던 경우와 삼천관 폐쇄부전이 심한 경우도 큰 어려움 없이 로봇 수술을 시행하였다. 우리의 결과에서 MIDCAB 경우에는 합병증이 없었으며 MIDCAB을 제외한 경우에는 출혈로 재수술한 경우가 3명 있었는데 3명 모두 늑막유착이 있었고 출혈한 곳도 늑막유착을 박리했던 자리였다. 결핵과 같이 늑막유착이 잘 일어나는 폐 감염으로 인하여 수술 전에 늑막유착이 있다고 판단되는 경우에는 로봇 수술을 피하는 것이 바람직하다고 생각된다. 수술로봇을 이용한 심장수술을 받은 대부분의 환자들은 통증이 경미하고 창상이 작아 만족도가 높았고 수술 후 회복이 빨라 조기 퇴원과 조기 업무복귀가 가능하였다(Fig. 2).

## 결 론

수술로봇을 이용한 심장수술을 시행한 우리의 경험으로 볼 때 많은 심장외과 의사들이 로봇을 이용하여 작은 창상을 통해 최소 침습적 심장수술이 가능하리라 본다.

수술로봇을 이용한 심장수술의 이점을 분석하기 위해서는 잘 계획된 연구와 긴밀한 장기간의 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Cosgrove DM, Sabik JK. *Minimally invasive approach for aortic valve operations.* Ann Thorac Surg 1996;62:596-7.
2. Cohn LH, Adams DH. *Minimally invasive cardiac valve surgery improves patient satisfaction while reducing costs of valve replacement and repair.* Ann Surg 1997;226:421-6.
3. Navia JL, Cosgrove DM. *Minimally invasive mitral valve operations.* Ann Thorac Surg 1996;62:1542-4.
4. Acuff TE, Landrenau RJ, Griffith BP, et al. *Minimally invasive coronary artery bypass grafting.* Ann Thorac Surg 1996;61:135-7.
5. Burke RP, Wernovsky G, van der Velde M, et al. *Video-assisted thoracoscopic surgery for congenital heart disease.* J Thorac Cardiovasc Surg 1995;109:499-508.
6. Chitwood WR Jr, Elbeery JR, Moran JM. *Minimally invasive mitral valve repair: using a mini-thoracotomy and transthoracic aortic occlusion.* Ann Thorac Surg 1997;63:1477-9.
7. Chitwood WR Jr, Elbeery JR, Chapman WHH, et al. *Video-assisted minimally invasive mitral valve surgery: the "micro-mitral" operation.* J Thorac Cardiovasc Surg 1997;113:413-4.
8. Mohr FW, Falk V, Diegeler A, et al. *Minimally invasive port-access mitral valve surgery.* J Thorac Cardiovasc Surg 1998;115:567-74.
9. Falk V, Walther T, Austschbach R, et al. *Robotic-assisted minimally invasive solo mitral valve operation.* J Thorac Cardiovasc Surg 1998;115:470-1.
10. Felger JE, Chitwood WR Jr, Nifong LW, Holbert D. *Evolution of mitral valve surgery: toward a totally endoscopic approach.* Ann Thorac Surg 2001;72:1203-9.
11. Vanerman H, Wellens F, De Geest R, et al. *Video-assisted port-access mitral valve surgery. Will trocar-port-access cardiac surgery ultimately lead to robotic cardiac surgery?* Semin Thorac Cardiovasc Surg 1999;3:223-34.
12. Chitwood WR Jr. *Video-assisted and robotic mitral valve surgery: toward an endoscopic surgery.* Semin Thorac Cardiovasc Surg 1999;11:194-205.

=국문 초록=

**배경:** 일반적으로 심장수술은 정중흉골절개를 통해 행해져 오고 있으며, 과거 십 년간 내시경 장비와 수술 수기의 향상은 작은 절개를 이용한 최소 침습적 심장수술의 발전을 이끌었다. 술자의 음성 명령을 인식하여 내시경을 움직이는 로봇 팔(AESOP 3000, Automated Endoscope System for Optimal Positioning)의 등장으로 심장수술은 로봇 시대에 진입하였다. **대상 및 방법:** 2004년 4월부터 12월까지 총 78명의 환자들에게 수술로봇을 이용한 심장수술을 시행하였고 그 중 64명의 환자들에게는 음성명령으로 조절되는 로봇 팔과 대퇴 동정맥관 삽관, 경피적 내경정맥관 삽관, 흉곽을 통한 대동맥 검자를 사용하여 5cm 우외측 최소개흉으로 로봇을 이용한 최소 침습적 심장수술을 시행하였다. 다른 14명의 환자들에게는 AESOP을 이용한 내흉동맥 박리를 통해 최소 침습적 관상동맥 우회술(MIDCAB)을 시행하였다. **결과:** 로봇을 이용한 심장수술은 승모판막 성형술이 37예, 승모판막 치환술이 10예, 대동맥판막 치환술이 1예, MIDCAB이 14예, 심방중격결손증 수술이 9예, Maze 수술만 시행한 경우가 1예였다. 승모판 수술의 경우 평균 체외순환시간은  $165.3 \pm 43.1$ 분이었고 평균대동맥 차단 시간은  $110.4 \pm 48.2$ 분이였다. 재원일수의 중간값은 승모판 수술인 경우 6일(3~30일), MIDCAB은 4일(2~7일), 심방중격결손증 수술은 4일(2~6일)이였다. 합병증으로는 술 후 출혈로 재수술한 경우가 3예이였고 사망환자는 없었다. **결론:** 수술로봇을 이용한 심장수술을 시행한 우리의 경험으로 볼 때 많은 심장외과 의사들이 로봇을 이용하여 작은 창상을 통해 최소 침습적 심장수술이 가능하리라 본다. 수술로봇을 이용한 심장수술의 이점을 분석하기 위해서는 잘 계획된 연구와 긴밀한 장기간의 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

- 중심 단어 : 1. 로봇트  
2. 최소 침습적 수술  
3. 심장수술