

수술 로봇을 이용한 심방중격결손 수술의 마취

— 증례보고 —

연세대학교 의과대학 ¹마취통증의학교실, ²마취통증의학연구소, ³심혈관연구소, ⁴흉부외과학교실

최용선¹ · 곽영란^{1,2,3} · 전동혁¹ · 홍용우^{1,2,3} · 박한기⁴

Anesthesia for Robotic Repair of the Atrial Septal Defect – A case report –

Yong Seon Choi, M.D.¹, Young Lan Kwak, M.D.^{1,2,3}, Dong Hyuk Jeon, M.D.¹, Yong Woo Hong, M.D.^{1,2,3}, and Han Ki Park, M.D.⁴
¹Department of Anesthesiology and Pain Medicine, ²Anesthesia and Pain Research Institute, ³Yonsei Cardiovascular Research Institute, ⁴Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Minimally invasive cardiac surgery including robotic technique has become increasingly popular over the last decade. The advantages of such technique include improved cosmesis and healing, and reduced stress response, hospital and intensive care unit stay, and transfusion requirements. Robot-assisted cardiac surgery requires prolonged one-lung ventilation to optimize exposure. Remote-access perfusion requires appropriate positioning of multiple catheters to establish cardiopulmonary bypass. Carbon dioxide insufflation into the thorax can cause hemodynamic instability and carbon dioxide embolism. Limited exposure of the heart may pose difficulties with management of arrhythmia, hemostasis, myocardial protection and de-airing at the end of surgery. Limited access due to robot manipulator would make rapid intervention for cardiopulmonary resuscitation difficult or impossible. This case report describes robot-assisted atrial septal defect repair and discusses the anesthetic issues associated with minimally invasive cardiac surgery including robotic cardiac surgery. (**Korean J Anesthesiol 2007; 52: 371~5**)

Key Words: anesthetic issues, atrial septal defect repair, robotic cardiac surgery.

최근 증가 추세에 있는 최소 침습적 심장수술은 조직손상을 최소화하여 통증을 감소시키고 조기에 회복할 수 있어 입원기간을 단축시키는 이점이 있으며 정중흉골절개와 달리 미용적 측면에서의 이점 또한 우수하다.¹⁻⁴⁾ 기존의 내시경 장비와 달리 3차원 입체영상과 자유롭게 구부릴 수 있는 로봇팔을 가진 다빈치 수술로봇(*da Vinci™ Surgical System: Intuitive Surgical Inc, Mountain View, CA, USA*)을 이용한 심장수술은 수술시야를 확보하기 위해 일측폐 환기를 필요로 하며 이산화탄소를 흉강 내로 주입해야 한다. 환자의 자세는 로봇팔이 작동하기 편하게 바꾸어야 하며 상대정맥 캐놀라 삽입 및 심장의 제한적인 노출과 관련하여 마취 관리 시 고려해야 할 내용들이 적지 않다.

저자들은 심방중격결손증 환자에서 국내 최초로 다빈치

수술로봇을 이용한 최소 침습적 심장마취를 경험하였으므로 이에 보고하는 바이다.

증 례

체중 50.3 kg, 신장 170 cm의 28세 남자 환자가 내원 1년 전부터의 운동 시 호흡곤란을 주소로 내원하여 이차공형 심방중격결손증 진단하에 침포교정술을 시행 받기로 계획되었다. 수술 전 심전도에서는 우심실비대 소견이 있었고 흉부 X선 검사에서는 폐혈관 음영의 증가 소견을 보였다. 심장초음파 검사상 22 mm의 이차공형 심방중격결손이 있었고 중등도의 삼첨판 역류 소견과 폐동맥고혈압이 동반되어 있었다. 심도자 소견상 Qp/Qs는 2.0이었고 폐동맥압은 80/25 mmHg였다. 다빈치 수술로봇을 이용한 미세 침습 흉골절개 심장수술을 시행하기로 하여 마취과에서는 상대정맥 캐놀라 삽입, 일측폐환기 등을 시행하기로 하였다.

마취전처치로 병실에서 midazolam 3 mg을 근주하였다. 환자가 수술실에 도착한 후에는 Lead II, V5 심전도와 맥박산소포화도계측기를 거치하여 감시하였고 국소마취 후 요골

논문접수일 : 2006년 9월 14일
책임저자 : 홍용우, 서울시 서대문구 신촌동 134번지
연세대학교 의과대학 연세의료원 마취통증의학과
우편번호: 120-752
Tel: 02-2228-2411, Fax: 02-364-2951
E-mail: ywhong@yumc.yonsei.ac.kr

동맥에 20 G 카테터를 거치하여 전신동맥압을 지속적으로 측정하였다. Midazolam 3 mg, sufentanil 30 μ g을 정주하여 마취유도를 하였으며 rocuronium bromide 50 mg을 투여한 후 37 Fr의 좌측 이중관튜브(Robertshaw tube, Mallinckrodt Medical Inc., USA)로 기관내삽관을 시행하였다. 굴곡성기관지경(fiberoptic bronchoscopy)으로 튜브의 위치를 확인하고 sevoflurane (1.0-1.5%)과 sufentanil 0.2-0.4 μ g/kg/h 정주로 마취를 유지하였다. 환자의 가슴과 등에 체외 제세동기 첩포를 부착하고 경식도심초음파 탐식자(SONOS 4500, Philips, Andover, Mass, USA)를 삽입하였다.

마취유도 후 두부 하강 체위를 취하고 우측 내경정맥에 중심정맥도관 위한 유도철사(guide wire)를 삽입하였고, 또 하나의 유도철사를 2 cm 하방에 삽입하였다. 상방의 유도철사에 7 Fr의 중심정맥도관(Two-Lumen Central Venous Catheterization Set with Blue FlexTip[®], Arrow International Inc., Reading, PA, USA)을 거치한 후 흉부외과의가 멸균한 천으로 환자를 다시 덮은 다음 하방의 유도철사에 17 Fr 상대정맥 캐놀라(Biomedicus; Medtronic, Eden Prairie, MN, USA)를 거치하였다(Fig. 1). 캐놀라의 응고를 방지하기 위해 100 U heparin을 함유한 100 ml의 생리식염수를 통과시켰다. 경식도심초음파로 상대정맥 캐놀라가 상대정맥과 우심방 연결부위 직상방에 위치했는지 확인하고(Fig. 2) 환자를 30° 정도 좌측 반측와위(left semilateral decubitus position)로 위치시킨 후 오른팔을 측면에 감싸 고정하였다. 골반은 대퇴동정맥의 접근이 용이하도록 수평 자세를 유지하였다. 심폐우회술을 위한 20 Fr 대퇴동맥 캐놀라(Fem-Flex II Femoral Arterial Cannulae[®], Edwards Lifesciences, Irvine, CA, USA)를 삽입한 다음 경식도심초음파로 확인하면서 하대정맥과 우심방 연결부위 직하방에 대퇴정맥을 통해 24 Fr 하대정맥 캐놀라(Femoral Venous Cannulae[®], Edwards Lifesciences, Irvine, CA,

USA)를 삽입하였다. 좌측 일측폐 환기를 시행한 후 우측 제 4 늑간을 4 cm 횡으로 절개하고 3번 늑간과 6번 늑간에도 8 mm 절개를 시행하여 포트(port)를 삽입하였다. 18 G 카테터를 흉강 내로 삽입하여 이산화탄소를 주입하였고 이로 인한 혈액학적 변화는 없었으나 고탄산혈증이 야기되었다. 심낭을 절개하고 고정하여 우심방과 대동맥을 노출시킨 후 다빈치 수술로봇을 환자 옆으로 근접시키고 4번 늑간 절개창을 통해 카메라 포트(camera port)를, 3번 늑간과 6번 늑간에 삽입한 포트를 통해 로봇팔을 삽입하였다(Fig. 3). 심폐우회술을 작동한 후 보조수술의가 Chitwood 대동맥 겹자로 대동맥을 차단하고 심장보호액을 주입하였다. 수술의는 외과 의사 작업대(surgeon console)에 앉아 로봇팔을 이용해 심방중

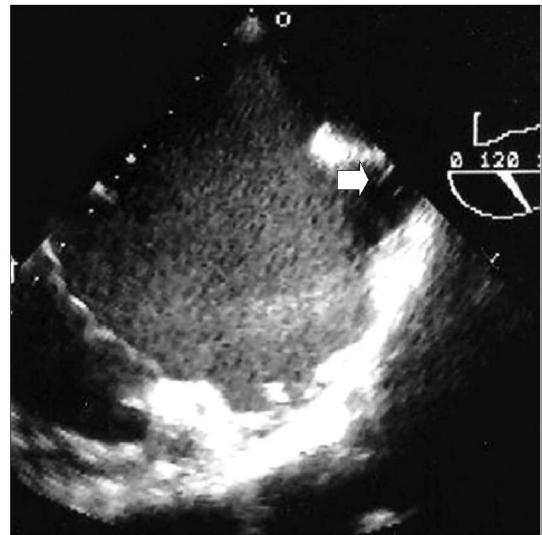


Fig. 2. Tip of SVC cannula (arrow) is identified at the junction of SVC and right atrium in the bicaval view. SVC: superior vena cava.



Fig. 1. Both CVP and SVC cannulas inserted at right jugular vein. CVP: central venous pressure, SVC: superior vena cava.



Fig. 3. Set up of the da Vinci camera and robotic arms.

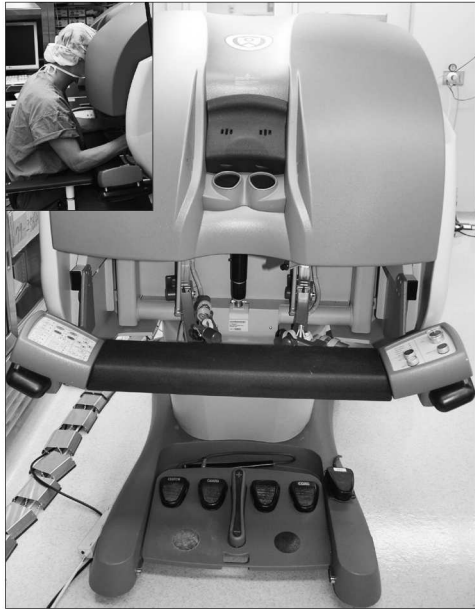


Fig. 4. Picture of the da Vinci robotic module, showing the surgeon's console.

격결손 부위에 첩포교정술을 시행하였다(Fig. 4).

봉합 시행 후 다빈치 수술로봇을 수술대 밖으로 이동시켰다. 대동맥 검자를 푼 후 심실세동이 발생하여 체외 제세동기로 1회 100 J로 제세동한 후 정상 리듬으로 회복되었다. 대동맥 검자시간은 122분, 심폐우회술시간은 160분, 수술시간은 5시간 10분, 마취시간은 8시간 30분이었다. 심폐우회술 전 일측폐 환기는 3시간 동안 시행하였고 동맥혈 가스검사상 pH 7.449, 산소 분압 255 mmHg, 이산화탄소 분압 32.5 mmHg로 정상이었다. 심폐우회술 이탈 20분 후 양측폐 환기를 시행하는 중 맥박산소포화도계측기상 산소포화도가 95%까지 감소하여 시행한 동맥혈 가스검사상 pH 7.291, 산소 분압 111.3 mmHg, 이산화탄소 분압 50.5 mmHg, 산소포화도 97.8%로 측정되었다. F_iO_2 를 1.0으로 바꾸고 호기말양압을 5 cmH_2O 적용하며 호흡수를 증가시킨 후 맥박산소포화도계측기상 산소포화도가 100%로 유지되었다. 그 후 25분간 일측폐 환기를 시행하였으며 맥박산소포화도계측기상 산소포화도가 다시 97%까지 잠시 감소하였으나 이후 산소포화도가 100%로 유지되어 특별한 처치는 하지 않았고 동맥혈 가스검사상 pH 7.361, 산소 분압 270.2 mmHg, 이산화탄소 분압 42.4 mmHg로 측정되었다. 수술 종료 후 protamine 정주로 활성화응고시간(activated coagulation time)이 기 준치로 되돌아온 다음 상대정맥 캐놀라를 제거하였고 이중관튜브를 단일관튜브로 교체하였다. 환자는 중환자실로 이송되었고 중환자실 입실 30분 후 눈을 뜨며 자발호흡이 회복되고 구두 명령에 복종하는 반응을 보여 발관하였다. 중

환자실에서 fentanyl 0.5 $\mu g/kg/hr$ 를 지속 주입하여 통증을 조절하였다. 환자는 특별한 문제 없이 수술 다음날 일반병실로 전동되었고 수술 후 4일째 퇴원하였다.

고 찰

본 저자들은 국내에서 최초로 다빈치 수술 로봇을 이용한 미세 침습 심장수술을 성공적으로 시행하였기에 로봇을 이용한 심장 마취의 경험을 보고하는 바이다. 최근에 시행되고 있는 미세 침습 심장수술은 조직 손상을 최소화하고 스트레스에 대한 체내 반응을 감소시켜 환자가 보다 빨리 회복할 수 있고 미용적으로 환자의 만족도가 높으며 환자의 재원기간과 의료비용을 단축시킨다.¹⁻³⁾ 부분흉골절개나 최소흉곽절개는 기존의 전체 정중흉골절개와 비교하여 넓고 확실한 수술 시야를 확보할 수는 없지만 수술 후 통증을 감소시키며 흉골하 유착 가능성을 감소시키고 재흉골절개 시에는 수혈 요구량을 감소시키며 심장과 기존의 이식혈관(graft)의 손상을 피할 수 있는 장점이 있다.⁴⁾ 또한 선천성 심장결손이 있는 소아에서도 포트 접근(Port-Access) 심장 수술을 시행하여 기관내튜브 발관 시간과 중환자실 재원 기간이 감소됨을 보고되었다.⁵⁾

1990년대 중반 이후 내시경 장비와 기술의 비약적 발전으로 최소한의 절개를 통해 내시경의 도움을 받아(video-assisted) 시행하는 미세 침습 심장수술이 내용동맥 박리, 선천성 심장 수술, 승모판 수술 등의 분야에서 도입되었다. 하지만 비디오 흉강경은 2차원 평면과 기구들의 움직임에 제약이 있다는 제한들을 가지고 있었고 이에 3차원 입체영상을 가진 로봇시스템이 개발되어 현재에는 다빈치 수술 로봇이 많은 병원에서 사용되고 있다. 다빈치 수술로봇은 크게 외과의사 작업대, 로봇팔 부분(instrument cart), 로봇팔과 외과의사 작업대를 연결하는 통합조절카드(integrative control cart)로 구성되어 있다. 수술의는 수술대 밖에서 외과의사 작업대에 앉아서 3차원 입체영상을 보면서 사람의 손목처럼 인체공학적으로 구부러지는 기구들을 이용하여 수술을 시행한다. 수술의의 손 움직임은 센서를 통해 저장된 후 컴퓨터가 제어하는 운동크기조절(motion scaling)제어 시스템을 거쳐 미세한 손떨림(natural tremor)을 제거한 상태에서 로봇팔을 통해 기구로 전달된다. 초창기 수술로봇은 심장내 수술시야의 극대화를 위한 카메라 용도로 이용되다가 최근 다빈치 수술로봇은 관상동맥 우회술, 판막치환술, 판막재건술, 선천성 심장수술 등의 다양한 심장 수술에서⁶⁻⁸⁾ 직접 사용되고 있다. 심방중격결손 수술에서는 대동맥 검자 대신 대동맥내 풍선(endo-balloon)을 이용한 완전 내시경적 심방중격결손 수술(totally endoscopic ASD repair, TEASD-R)이 성공적으로 시행되고 있다.⁹⁻¹¹⁾ Morgan 등은¹²⁾ 심방중격결손으로

로봇수술을 받은 환자에서 정중흉골절개 수술이나 미세 침습 흉곽 수술을 받은 환자에 비해 중환자실 및 병실재원 기간에는 차이가 없었으나 수술 후 통증이 적고 회복이 빨랐으며 삶의 질에 대한 설문에서 높은 만족도를 보였다고 보고하였다.

비디오 흉강경과 수술로봇을 이용한 미세 침습 심장 수술은 기존의 정중흉골절개 심장수술과 비교하여 마취 시 다음과 같은 사항을 유의해야 한다. 첫째, 가능한 작은 절개로 수술을 시행하기 때문에 수술 시야의 확보를 위해 장시간의 일측 폐환기를 필요로 하여 이중관튜브를 삽입해야 하는데 이로 인해 심박출량 감소, 폐동맥압과 폐혈관저항 및 고탄산혈증과 저산소증이 야기될 수 있다. 이중관튜브는 Univent 튜브나 기관지 차단기(bronchial blocker)와 달리 수술이 끝난 후 단일관튜브로 바꾸어야 하는 단점이 있지만 수술 중 산소포화도 감소 시 비의존폐를 반복적으로 쉽게 환기시킬 수 있어 가장 적합하다. 다만 굵은 이중관튜브의 장기간 삽관은 상기도 부종을 유발하여 단일관튜브로 교체 시 어려움이 생길 수 있으므로 주의하여야 한다. 둘째, 판막치환술이나 심방중격결손증 봉합술처럼 심정지 상태에서 수술을 할 경우에는 심폐우회술이 필요하기 때문에 동맥 캐놀라는 대퇴동맥을 통해서 거치하고 상대정맥과 하대정맥 캐놀라 삽입은 각각 내경정맥과 대퇴정맥에 거치해야 한다. 심방중격 등으로 접근하기 위해서는 상대정맥과 하대정맥의 올가미감기(snaring)가 중요하므로 경식도심초음파를 통해 상대정맥 캐놀라는 상대정맥과 우심방 연결부위 직상방에, 하대정맥 캐놀라는 하대정맥과 우심방 연결부위 직하방에 위치함을 확인해야 한다.⁵⁾ Jeong 등은¹³⁾ 미세 침습 로봇 보조 심장 수술에서 우측 쇄골하정맥을 통해 폐동맥 유도자를 거치한 후 우측 내경정맥을 통해 상대정맥 카테터를 삽입할 때 굵은 상대정맥 카테터 거치 중 상대적으로 가는 폐동맥 유도자가 꺾이는 합병증을 보고하였다. 그 외 대퇴동맥 캐놀라 시행 시 서혜부 혈종, 바깥엉덩동맥 손상, 림프루 등의 합병증이 발생할 수 있다.^{14,15)} 셋째, 심폐우회술 시행 동안 적절한 유량(flow)을 유지하기 위해서는 흡입압력을 필요로 할 수도 있어 공기색전증의 위험성이 증가하게 된다.⁴⁾ 이를 최소화하고 수술 시야 확보를 위해 이산화탄소 주입구를 통하여 이산화탄소를 흉강 내로 주입하게 된다. 그러나 이산화탄소의 주입은 관상동맥 우회술처럼 작업창(service entrance)을 위한 절개선을 시행하지 않는 심장수술의 경우에는 폐쇄된 흉강 내로 이산화탄소가 주입되면 폐가 눌러 폐용량이 감소하고 종격동이 이동하면서 불안정한 혈액학적 변화를 유발할 수 있고 이산화탄소색전증 등의 합병증이 생길 수 있다.^{16,17)} Shin 등은¹⁸⁾ 미세침습 로봇 보조 심장수술 중 이산화탄소가 폐쇄된 복강 내로 잘못 주입되어 대량의 이산화탄소색전증으로 인한 순환정지가 발

생하여 심폐소생술 5분 만에 심폐우회술을 시작하여 수술 후 회복되었음을 보고하였다. 넷째, 심장의 제한적인 노출로 인해 부정맥이나 출혈 시 적절한 처치를 하기가 어려울 수 있어 수술 전에 부정맥, 심실세동의 가능성을 대비해 체외 체세동기를 부착해야 한다. 또한 대동맥과 심장으로 접근이 어려워 수술 종료 시 정중흉골절개 수술 방법보다 공기 제거(de-airing)가 힘들다.³⁾ 초기에는 이로 인해 수술 후 의식장애가 증가한다고 하였으나 최근 연구에 의하면 신경정신과적 검사상 정중흉골절개군과 최소 침습 수술군 간에 차이가 없다고 하였다.¹⁹⁾ 다섯째, 수술 로봇 이용 시 환자의 준비와 로봇 시스템의 설치로 마취와 수술시간이 길어진다는 문제점이 있다.¹⁷⁾ 다빈치 수술 로봇을 이용한 수술에서는 환자의 자세와 포트의 위치가 중요한데 이는 다빈치 수술 로봇의 통합조절카트의 위치가 제한되어 있어 포트들이 너무 가까우면 로봇팔들끼리 간섭이 일어나 수술이 어려워 지므로 적합한 위치 선택에 시간이 걸리게 된다. Argenziano 등은¹⁰⁾ 17명의 완전 내시경적 심방중격결손 수술에서 평균적으로 대동맥 겸자시간 32분, 심폐우회술시간 122분임을 보고하였지만 본 증례에서는 각각 122분과 160분이 소요되었다. 그러나 Bonaros 등에¹¹⁾ 따르면 미세 침습 흉곽 수술에 비해 수술 로봇을 이용한 완전 내시경적 심방중격결손 수술 시에는 대동맥 겸자시간과 심폐우회술시간이 경험의 축적을 통하여 단축된다고 하였다. 본 증례에서는 대동맥내 풍선 대신에 Chitwood 대동맥 겸자를 사용하였다. 대동맥내 풍선은 대동맥 박리를 유발하거나 수술 중 대동맥 판막이나 팔머리동맥으로 풍선이 이동할 수 있어 지속적 감시를 요하는 반면 경흉부대동맥 겸자(transsthoracic clamp)는 사용이 간단하며 수술 시간을 단축시키고 비용을 절감하는 장점이 있다.^{15,20)}

일반적으로 상대정맥 캐놀라는 우측 내경정맥에 거치하고 폐동맥카테터 유도자는 우측 쇄골하정맥이나 좌측 내경정맥을 통해 거치하지만 본 증례에서는 폐동맥카테터를 삽입하지 않기로 계획하였기에 중심정맥도관과 상대정맥 캐놀라를 동일한 우측 내경정맥에 큰 어려움 없이 거치하였다.

본 증례는 수술 로봇을 이용하여 심방중격결손 첩포교정술을 시행 받은 환자의 마취 경험에 대한 것으로 기존의 방법보다 마취 시간은 오래 걸렸지만 특별한 마취적 문제 없이 미세 침습적 심장 수술을 진행할 수 있었기에 이를 로봇수술과 관련된 마취에 대한 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

참 고 문 헌

1. Kypson AP: Recent trends in minimally invasive cardiac surgery.

- Cardiology 2006; 107: 147-58.
2. Bakir I, Casselman FP, Wellens F, Jeanmart H, De Geest R, Degrieck I, et al: Minimally invasive versus standard approach aortic valve replacement: a study in 506 patients. *Ann Thorac Surg* 2006; 81: 1599-604.
 3. Woo YJ, Nacke EA: Robotic minimally invasive mitral valve reconstruction yields less blood product transfusion and shorter length of stay. *Surgery* 2006; 140: 263-7.
 4. Ganapathy S: Anaesthesia for minimally invasive cardiac surgery. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2002; 16: 63-80.
 5. Preisman S, Keidan I, Perel A, Mishaly D: Anesthesia for port-access cardiac surgery in a pediatric population. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2005; 19: 626-9.
 6. Turner WF Jr, Sloan JH: Robotic-assisted coronary artery bypass on a beating heart: initial experience and implications for the future. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 790-4.
 7. Nifong LW, Chitwood WR, Pappas PS, Smith CR, Argenziano M, Starnes VA, et al: Robotic mitral valve surgery: a United States multicenter trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 129: 1395-404.
 8. Dogan S, Aybek T, Andressen E, Byhahn C, Mierdl S, Westphal K, et al: Totally endoscopic coronary artery bypass grafting on cardiopulmonary bypass with robotically enhanced telemanipulation: report of forty-five cases. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 123: 1125-31.
 9. Torracca L, Ismeno G, Alfieri O: Totally endoscopic computer-enhanced atrial septal defect closure in six patients. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 1354-7.
 10. Argenziano M, Oz MC, Kohmoto T, Morgan J, Dimitui J, Mongero L, et al: Totally endoscopic atrial septal defect repair with robotic assistance. *Circulation* 2003; 108(Suppl 1): II191-4.
 11. Bonaros N, Schachner T, Oehlinger A, Jonetzko P, Mueller S, Moes N, et al: Experience on the way to totally endoscopic atrial septal defect repair. *Heart Surg Forum* 2004; 7: E440-5.
 12. Morgan JA, Peacock JC, Kohmoto T, Garrido MJ, Schanzer BM, Kherani AR, et al: Robotic techniques improve quality of life in patients undergoing atrial septal defect repair. *Ann Thorac Surg* 2004; 77: 1328-33.
 13. Jeong SM, Lee HH, Jeong YB, Choi IC: Kinking of the advanced venous access device during insertion of the superior vena cava cannula and the pulmonary artery catheter in the minimally invasive robot-assisted cardiac surgery. *Korean J Anesthesiol* 2005; 48: 202-6.
 14. Mohr FW, Falk V, Diegeler A, Walther T, van Son JA, Autschbach R: Minimally invasive port-access mitral valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 567-74.
 15. Bonatti J, Schachner T, Bonaros N, Oehlinger A, Danzmayr M, Jonetzko P, et al: Technical challenges in totally endoscopic robotic coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 131: 146-53.
 16. Parr KG, Talamini MA: Anesthetic implications of the addition of an operative robot for endoscopic surgery: a case report. *J Clin Anesth* 2002; 14: 228-33.
 17. D'Attellis N, Loulmet D, Carpentier A, Berrebi A, Cardon C, Severac-Bastide R, et al: Robotic-assisted cardiac surgery: anesthetic and postoperative considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 397-400.
 18. Shin WJ, Lee YM, Hahm KD, Jeong YB, Choi IC: Massive carbon dioxide embolism during the minimally invasive robot-assisted cardiac surgery. *Korean J Anesthesiol* 2006; 50: 99-102.
 19. Dogan S, Aybek T, Risteski PS, Detho F, Rapp A, Wimmer-Greinecker G, et al: Minimally invasive port access versus conventional mitral valve surgery: prospective randomized study. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 492-8.
 20. Reichenspurner H, Detter C, Deuse T, Boehm DH, Treede H, Reichart B: Video and robotic-assisted minimally invasive mitral valve surgery: a comparison of the Port-Access and transthoracic clamp techniques. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 485-90.