



Robot-assisted Liver Resection

최 기 흥

연세대학교 의과대학 외과학교실

서론

기존 복강경에 비해 로봇의 장점은 고해상도의 확대된 3차원 영상에서 개복 시 손의 움직임처럼 7자유도를 가진 도구를 이용하여 보다 안정적으로 수술을 시행할 수 있다는 것이다. 로봇 수술은 비뇨기와 전립선 수술과 심장 판막 수술에서 미세침습수술로부터 시작하여 현재 외과 수술의 모든 영역에서 실행되고 있다[1].

문헌상으로 최초의 로봇 간 절제는 2003년도 Giulianotti group에 의해 보고되었다[2]. 193예의 로봇수술 중에서 2예의 환자(간암과 간선종)에서 5-6번 이분절 절제술과 5번 분절 절제술이 시행되었다. 이후 2006년도 체코와 2008년도 루마니아에서 로봇 보조하 좌외구역 절제술을 보고하였다[3,4]. 국내에서는 본원에서 2008년도에 3예의 좌외구역 절제술을 보고하였다[5]. 보고된 모든 예에서 수술 후 합병증 없이 양호한 수술 경과를 보고하였다.

지금까지 보고된 로봇 간 절제술은 대부분이 좌외구역이나 분절절제술에 국한되어 있다. 또한 환자 수도 증례수준에 머무르고 있어 아직 간 절제술에 있어 로봇의 기술적인 유용성을 검증하기에는 아직 한계가 있다. 그렇지만 최근 2009년 10월에 시카고에서 열린 1st Worldwide Congress of Clinical Robotic Surgery Association[6]에서 시카고 Illinois medical center의 Giulianotti 등은 20예 이상의 로봇 대량 간 절제술을 보고하였고 간문부암 환자에서 로봇으로 확대 우간 절제술 및 담도공장 문합술을 성공적으로 시행한 증례를 발표하였다. 또한 중국에서도 로봇으로 대량 간 절제술 및 9예의 간문부암 환자를 로봇으로 수술한 경험을 발표하였다. 이처럼 세계 몇몇 기관에서는 로봇으로 대량 간 절제를 시행하고 있고 로봇의 적용 가능성을 보여주고 있다.

본론

로봇 대량 간 절제술에 대해 현재까지 문헌 보고는 없지만 본원에서 2009년도 1월부터 7예의 대량 간 절제술(좌간 절제술 6예, 우간 절제술 1예)을 시행하였기에 본원의 경험을 바탕으로 로봇 대량 간 절제술의 과정을 기술하고자 한다.

1. 로봇 수술 시 Surgical cart and Port placement의 일반적인 원칙

da Vinci Surgical System은 로봇 팔이 달려 있는 Surgical Cart, 모니터가 있는 Vision Cart 그리고 surgeon이 앉아서 수술하는 console Cart, 세 부분으로 구성되어 있다. 일반적으로 Surgical Cart는 수술하고자 하는 목표 장기 및 Camera port와 일직선상에 놓이게 해야 한다(Fig. 1).

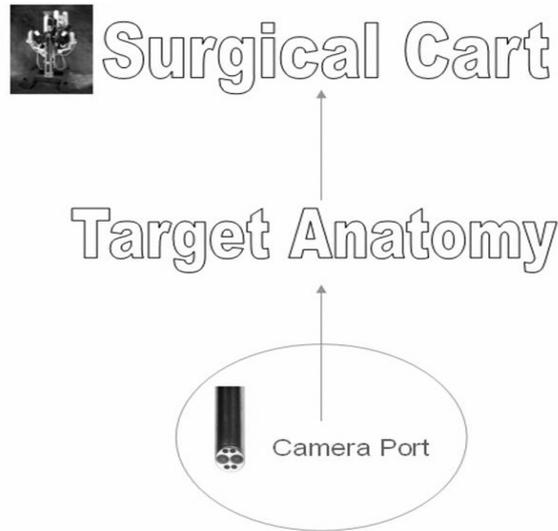


Fig. 1. Placement of surgical cart and camera port.

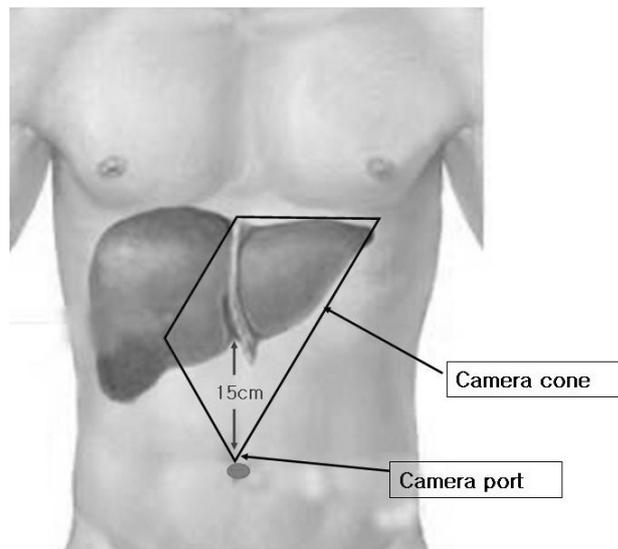


Fig. 2. Camera cone and port placement in left hepatectomy.

Camera port는 수술하는 부위의 목표 장기의 중앙에 위치하는 것이 좋고 목표 장기와 15 cm 정도 거리를 두어야 한다. 목표 장기의 양쪽 끝을 camera port와 연결한 영역을 “camera cone”이라 부르고 이 영역 바깥에 robot arm port을 위치시켜야 복강 내에서 기구간 충돌(internal collision)을 방지할 수 있다. 좌간 절제술의 예를 들면 담낭에서 좌간의 삼각인대 그리고 camera port를 연결하는 영역이 camera cone이 된다 (Fig. 2). 이 영역 바깥에 robot arm port을 위치시켜야 한다. 또한 각 port가 거리는 최소한 8-10 cm 정도를 유지해야 복강 밖에서 로봇 팔끼리 충돌(external collision)을 최소화 할 수 있다. Assistant port 위치 선정 또한 여러가지를 고려해야 한다. 가장 중요한 것은 robot arm이 위치한 상태에서 port까지 접근성이 좋아야 하고 복강 내에서는 camera와 로봇 기구와 충돌이 초소화 되어야 한다는 것이다. Assistant port의 접근성을 높

이기 위해서는 robot arm ports간 연결한 가상의 선 바깥에 port을 위치시키는 것이 좋고 로봇 및 camera port와 최소한 5 cm의 거리를 유지해야 한다.

2. 대량 간절제시 환자의 자세 및 port placement

1) 좌간 절제술: 환자는 양와위 (supine)에서 15° reverse Trendelenberg 자세를 취한다. Fig. 3은 좌간 절제술 시 surgical cart의 위치와 port placement을 보여주고 있다. Camera port는 배꼽에 위치하고 Surgical cart는 목표 장기와 camera port가 일직선이 되도록 환자의 머리에 위치하게 된다. Left robotic arm은 camera port와 최소 8 cm 정도의 거리를 유지한 상태에서 left upper quadrant에 위치하고 4th robotic arm은

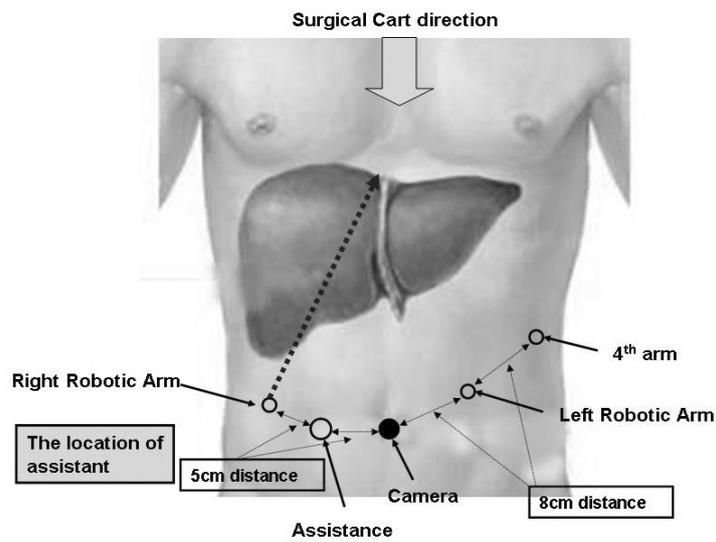


Fig. 3. Port placement in robotic left hepatectomy.

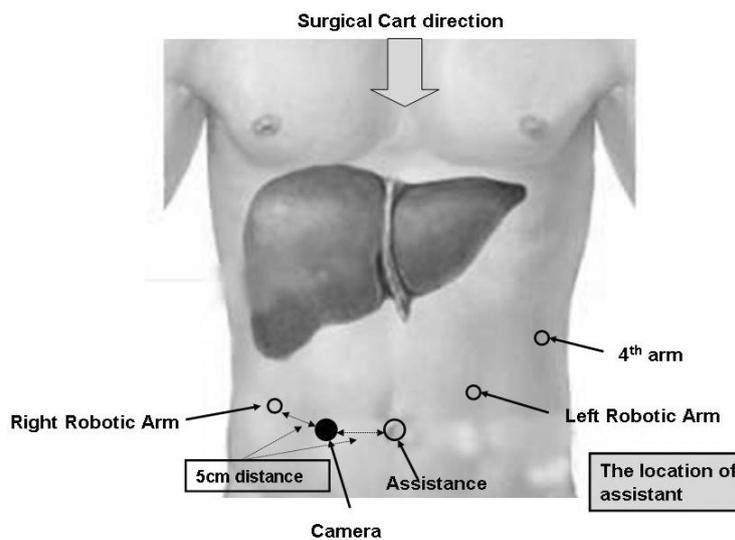


Fig. 4. Port placement in robotic right hepatectomy.

left robotic arm과 8 cm 거리를 유지한 상태에서 Left anterior axillary line 정도에 위치한다. Assistant port 는 간 절제시 clipping과 좌간정맥을 결찰하기 위해 vascular endo-GIA를 삽입하는 것을 고려하여 camera port와 right robotic arm 사이에 있으면서 right arm port와 camera port의 가상선 아래에 위치하게 하였다. 이 port에 접근성을 높이기 위해 assistant는 환자의 오른쪽에 위치하게 된다. 모든 수술 과정은 right arm과 left arm에 의해 진행되며 4th arm은 수술시 retraction과 exposure의 역할을 한다. 간 실질 절제시 right robotic arm에 harmonic scalpel을 장착하게 된다. Harmonic scalpel은 endo-wrist 기능이 없기 때문에 간 실질 절개의 방향을 고려하여 right arm port의 위치를 선정해야 한다. Fig. 3에서처럼 right robotic arm의 간 절제 시 진행 방향은 좌 간절제시 간 실질 절개방향과 일치하게 된다.

2) **우간 절제술:** 우간 절제술시에도 좌간 절제술과 동일한 환자의 자세 및 port placement가 적용된다. Fig. 4는 우간 절제술시 Surgical cart, port placement 및 assistant의 위치를 보여주고 있다. 좌간 절제술과 다른 점은 camera port와 assistant port의 위치가 서로 바뀐다는 것이다. 간문부 박리 시 우간 동맥 및 우간 문맥을 좀더 정확하게 보기 위해서 배꼽에서 오른쪽으로 5 cm 거리에 camera port를 위치하였다. Assistant port는 우간 정맥을 결찰시 vascular endo-GIA를 삽입방향을 고려하여 배꼽에 위치하였다. 따라서 Assistant는 환자의 왼쪽에 위치하게 된다.

3. 로봇 간절제시 사용되는 도구

Camera는 30°C telescope을 사용한다. Dual scope으로 술자에게는 3차원 영상을 제공한다. Fig. 5는 간절제시 사용되는 도구들이다. Monopolar hook은 지혈 및 dissection하는데 사용하고 curved bipolar forceps (Maryland forceps)은 조직이나 거즈 등을 잡을 때와 간 실질 절제 시 미세 출혈을 지혈하는데 사용한다. Ultrasonic shears는 간원인대(round ligament), 겸상인대(falciform ligament)와 간 실질 절제 시 사용한다. Clip applier는 간문부 동맥 및 문맥, 담도를 결찰하는데 사용되고 간 실질 박리 시 주요 간정맥 분지를 결찰하는데 사용된다. Cadriere forceps은 네 번째 로봇 팔에 장착되어 traction 및 exposure의 역할을 한다. Large

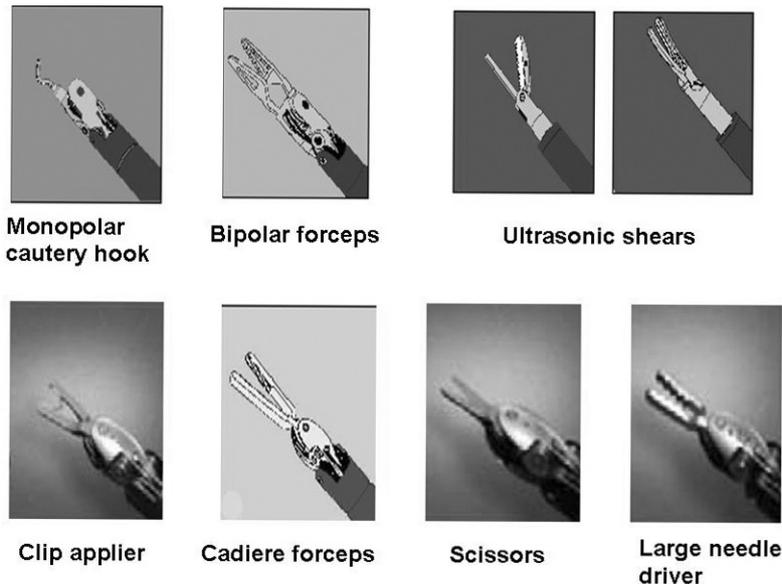


Fig. 5. Instruments in robotic hepatectomy.

needle driver는 우간문맥 박리 시 미상엽으로 가는 문맥지를 결찰하는데 사용되며 간 실질 절제 시 발생할 수 있는 주요 간정맥의 출혈 부위를 봉합하는데 사용된다.

4. 로봇 대량 간 절제술 과정

1) **간의 유동화:** 간원인대와 겸상인대는 harmonic scalpel을 이용하여 절제 후 관상인대(coronary ligament)는 hook과 Maryland forceps을 이용하여 박리한다. 이때 적절한 시야 확보를 위해 네 번째 로봇 팔의 cadiere forceps으로 간을 아래 방향으로 적절히 견인 해야 한다. 좌 간절제시 네 번째 로봇 팔로 좌외구역 간을 우측으로 견인한 후 소망을 hook과 harmonic scalpel을 사용하여 절제한다. 이때 좌간으로 가는 accessory 또는 replaced 좌간동맥이 있는지 수술 전 영상 검사에서 확인해야 하며 존재 시 clipping하여 결찰 해야 한다.

우측 간의 유동화는 좌간에 비해 어려움이 있다. 네 번째 로봇 팔로 우간을 견인하여 적절한 시야를 확보 하는 것이 중요하다. Hook과 Maryland forceps을 이용하여 삼각인대 및 관상인대를 절제하고 무장막 구역을 박리하고 부신과의 유착을 분리한다. 단간정맥(short hepatic vein)은 hook으로 박리 후 hem-o-lok 이나 보조 의를 통해 clipping을 하여 절단한다. 하대 정맥 인대를 결찰 한 후 우간정맥이 하대 정맥으로 들어가는 부위 까지 박리를 시행한다.

2) **간문부의 박리:** 네 번째 로봇 팔로 간문부위를 노출 시킨 후 hook과 Maryland forceps를 이용하여 간 십이지장 인대 (hepatoduodenal ligament)을 섬세하게 박리한다. 간동맥과 간문맥은 hem-o-lok으로 clipping 하여 결찰한다. 우측 문맥 박리시 미상엽으로 가는 문맥지를 hook을 이용하여 박리 한 후 prolene 5-0로 suture ligation 시행해야 우 문맥의 유동화가 가능하다. 담도는 간 실질 절제 중간에 hilar plate를 포함하여 hem-o-lok으로 clipping을 시행한다.

3) **간 실질의 절제:** 수술의 성공 여부를 결정하는 가장 중요한 과정이다. 간 실질의 절제는 harmonic scalpel과 maryland bipolar forceps을 사용하여 시행한다. Harmonic scalpel은 endo-wrist 기능이 없기 때문에 적절한 port의 위치 선정이 중요하다. 좌간 절제나 우간 절제 모두 오른쪽 로봇 팔에 harmonic scalpel을 장착하고 active blade가 아래에 위치하도록 하는 것이 안정적이고 출혈이 없는 간 실질 절제가 가능하였다. Demarcation line을 따라 간 실질을 절제하기 때문에 대부분의 출혈은 중요 간정맥 분지에서 발생한다. 결찰 해야 할 중요 간정맥의 개수 및 위치를 수술 전 영상 검사에서 인지하거나 수술 중 초음파를 시행하여 확인 한 후 간정맥 분지가 있는 위치에 접근 할수록 harmonic scalpel을 섬세하게 진행해야 한다. 이 때 절제 면에 중요 혈관 분지의 노출을 확인하기 위해서는 수시로 거즈를 이용하여 절제 면을 닦아 내야 한다. 중요 간정 맥 분지가 노출되면 아래위 및 간정맥의 뒤쪽 부분까지 간 실질을 섬세하게 박리한 후 clipping을 시행하여 절단한다.

간 실질 절제를 성공적으로 시행하기 위해서는 절제 면의 시야가 적절하게 확보되어야 한다. 두 번째 좌 간 절제 시 까지는 좌간 절제면 끝에 rubber band를 suture로 고정한 후 네 번째 로봇 팔로 견인하는 방법을 썼다. 이 방법은 절제 면에서 출혈이 발생하였을 때 지혈 하는데 어려움이 있었고 실제로 두 번째 수술에서 는 출혈로 인해 개복술로 전환해야 했었다. 세 번째 수술 부터는 양쪽 절제 면의 끝에 rubber band를 suture 로 고정한 후 2 mm trocar를 이용하여 양쪽 복강 밖으로 빼낸 후 복강밖에 고정하는 방법을 썼다(Fig. 6). Rubber band의 장력이 간 실질 절제 면을 안정적이고 효과적으로 노출시켰고 추가적인 견인이 필요할 때는 네 번째 로봇 팔을 이용하였다. 이 방법의 가장 중요한 장점은 3개의 로봇 팔을 간 실질 절제 시 모두 사용할 수 있고 출혈 시 한 개의 로봇 팔로 출혈 부위를 거즈 등으로 압박한 후 나머지 두 개의 로봇 팔로 수술



Fig. 6. Rubber band retraction method in robotic major hepatectomy.

Table 1. Perioperative outcomes after robot assisted major hepatectomy

	Sex/ Age	Diagnosis	OP name (min)	OP time (mL)	Blood loss	Trans- fusion	Complications	Hospital stay (days)
1	F/32	HCC	Lt. hepatectomy	560	200	None	None	9
2	M/62	CCC	Lt. hepatectomy with LN dissection (LN#12,#8,#13)	670	900	Yes (1 units)	Open conversion, wound infection	22
3	M/51	CCC (intraductal papillary neoplasm)	Lt. hepatectomy	460	540	None	None	7
4	M/55	Liver metastasis of rectal cancer	Lt. hepatectomy	550	350	None	None	7
5	M/32	HCC	Lt. hepatectomy	470	200	None	None	7
6	F/57	IHD stone, Lt	Lt. hepatectomy	465	150	None	None	12
7	M/56	HCC	Rt. hepatectomy	735	400	None	None	9

을 계속 진행할 수 있다는 것이다. 출혈 부위는 어느 정도 압박을 하면 지혈 되는 경우도 있고 출혈량이 감소하여 안전하게 출혈 부위를 지혈 할 수 있다. 지혈방법으로는 출혈 부위 혈관을 노출 시킨 후 clipping을 시행할 수 있다. 로봇의 장점을 활용하여 large needle driver로 출혈 부위를 blunt suture하거나 prolene 5-0로 정맥 벽의 출혈 부위를 suture할 수 있다. 거즈로 압박 후에도 출혈량이 상대적으로 많을 경우 fibrin-based hemostatic agent를 사용하기도 하였다.

우간 절 제시는 미상엽을 하대 정맥 중간부위에서 절제해야 하는데 Glission지를 clipping 하여 절단해야 수술 후 담즙 누출의 합병증을 예방할 수 있다. 간정맥은 vascular endo-GIA를 이용하여 결찰하였다. 절제된 조직은 endobag에 넣은 후 suprapubic incision이나 이전 수술 상처 부위로 빼내었다.

5. 로봇 대량 간 절제를 받은 환자의 수술 후 단기 성적

2009년 1월부터 현재까지 본원에서 6예의 좌간절제술과 한 예의 우간절제술이 시행되었다(Table 1). 좌간 절제술의 평균 수술 시간은 529분이었고 평균 출혈량은 390 mL였다. 총 7명의 환자 중에 한명에서 개복술로 전환되었으며 이 환자에서 수술 후 상처 감염이 발생하였다. 나머지 6명의 환자에서는 합병증이 없었다. 총 7명의 환자의 평균 재원 기간은 10.6일이었다.

결론

로봇 간절제 분야는 아직 시작 단계라 할 수 있다. 본원의 초기 경험으로 보면 좌간 절제술은 기술적으로 가능하고 안정적인 시술로 여겨지고 우간 절제 또한 기술적으로 가능하였다. 긴 수술 시간 또한 경험 축적과 각 단계의 술식을 표준화 함으로써 단축될 것으로 여겨진다. 향후 로봇 간 절제술의 기술적 적용 가능성과 안정성이 다기관에서 증명이 되고 Port placement을 비롯한 수술과정의 표준술식이 확립된다면 보다 많은 기관에서 대량 간 절제 및 다양한 해부학적 간 절제술이 시행될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Hanly EJ, Talamini MA. Robotic abdominal surgery. *Am J Surg* 2004;188:19S-26S.
2. Giulianotti PC, Coratti A, Angelini M, et al. Robotics in general surgery: personal experience in a large community hospital. *Arch Surg* 2003;138:777-784.
3. Ryska M, Fronck J, Rudis J, et al. Manual and robotic laparoscopic liver resection. Two case-reviews. *Rozhl Chir* 2006;85:511-516.
4. Vasile S, Sgarbura O, Tomulescu V, Popescu I. The robotic-assisted left lateral hepatic segmentectomy: the next step. *Chirurgia (Bucur)* 2008;103:401-405.
5. Choi SB, Park JS, Kim JK, et al. Early experiences of robotic-assisted laparoscopic liver resection. *Yonsei Med J* 2008;49:632-638.
6. Website (www.CLINCALROBORICS.COM)