



# 대장직장암절제술에서 로봇수술과 복강경수술의 비교

신 재 원 · 김 선 한\* | 고려대학교 의과대학 안암병원 대장항문외과

## Robotic versus laparoscopic surgery in colon and rectal cancer

Jae-Won Shin, MD · Seon-Hahn Kim, MD\*

Division of Colorectal Surgery, Department of Surgery, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

\*Corresponding author: Seon-Hahn Kim, E-mail: drkimsh@korea.ac.kr

Received June 8, 2012 · Accepted June 22, 2012

Laparoscopic surgery is an acceptable option for colorectal cancer. Robotic surgery is an emerging methodology and may be a solution to some difficulties inherent to conventional laparoscopic surgery. The aims of this study are to review the outcomes of laparoscopic and robotic surgery, and to discuss robotic surgery from the perspective of treating colorectal cancer. In rectal cancer, robotic surgery takes a longer operative time and has a higher cost, but decreases conversion to open surgery and shortens the learning curve. It has a great potential for preserving bladder and sexual function after total mesorectal excision (TME). The TME quality may also be better. Robotic surgery can also modify the current standard anastomosis following rectal resection, which is a double-stapling technique. Using a robot enables transanal specimen retrieval then a single-circular stapled anastomosis, which is associated with low pain and fast recovery. More solid answers including the long-term oncologic safety will be provided by ongoing randomized trials. In colon cancer, the ease of performing intracorporeal suture anastomosis may be a benefit. Since complete mesocolic excision with wide lymphadenectomy is becoming more and more acceptable to achieve better oncologic outcomes, the role of robotic surgery in providing a stable environment for radically dissecting lymph nodes should be evaluated. Recently developed new technologies such as fluorescent imaging and a robotic stapler seem promising potentially providing further benefits such as a decrease in anastomotic leakage. Single port robotic surgery is also an interesting concept requiring clinical evaluation. Robotic surgery is a developing field and may provide further functional and oncological benefits to colorectal cancer patients. Large scale randomized trials are timely important.

**Keywords:** Colorectal surgery; Robotic surgery; Laparoscopy

### 서 론

2009년 국가 암 통계에 따르면 대장암(직장암 포함)은 2009년 한 해 동안 24,968명이 발생하여 한국에서 세 번째로 많이 발생한 암으로 기록되었다. 이는 전체 암의 13%에 해당하며 최근 남성의 경우 연간 6.7%, 여성의 경우 5.1%

의 증가율을 보이고 있다. 또한 2005년부터 2009년까지의 5년 생존율은 71.3%로 적극적인 치료를 시행할 경우 완치 및 장기 생존의 가능성이 높아질 수 있음을 알 수 있다[1]. 이는 여러 치료방법이 발전되고 새롭게 개발된 것에 따르며 수술도 예외는 아니다. 지난 30년 동안 최소침습수술은 끊임없는 발전을 거듭하였고 외과 전 영역에 다양하게 적용되

© Korean Medical Association

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.

**Table 1.** Demographics of the studies which we used in this analysis

Authors	Year	Country	Study type	Number (Lap vs. Ro)
Delaney et al. [11]	2003	USA	Comparative	6 vs. 6
D'Annibale et al. [2]	2004	Italy	Comparative	53 vs. 53
Pigazzi et al. [3]	2006	USA	Comparative	6 vs. 6
Rawlings et al. [12]	2007	USA	Comparative	27 vs. 30
Spinoglio et al. [13]	2008	Italy	Comparative	161 vs. 50
Baik et al. [5]	2009	Korea	Comparative	57 vs. 56
Patriiti et al. [6]	2009	Italy	Comparative	37 vs. 29
DeSouza et al. [14]	2010	USA	Comparative	135 vs. 40
Park et al. [8]	2010	Korea	Case control	82 vs. 41
Bianchi et al. [7]	2010	Italy	Comparative	25 vs. 25
Baek et al. [10]	2011	USA	Case control	41 vs. 41
Kwak et al. [9]	2011	Korea	Case control	59 vs. 59

Lap, laparoscopic surgery; Ro, robotic surgery.

고 있다. 대장직장암 치료에도 복강경수술이 도입되면서 수술의 안전성 및 생존율에 있어 그 유용성이 검증된 상태이며 빠른 환자 회복 및 재원일수의 감소 등으로 이제는 표준수술로서 자리잡아가고 있는 현실이다. 최근에는 다빈치 로봇을 이용한 수술이 도입되면서 미세침습수술의 한 방법으로 자리매김을 하고 있다. 다빈치 수술로봇은 3차원 확대 영상을 사용하여 해부학적 구조물의 정확한 확인이 가능하며, 좁은 공간에서 로봇 관절을 사용한 다양한 각도의 조작이 가능하다는 점, 수술자 본인이 직접 카메라와 로봇수술기구를 원하는 대로 조작함으로써 수술보조자의 숙련도와 상관없이 안정적으로 수술을 진행할 수 있다는 점 등이 가장 특징적인 장점으로, 기존의 복강경수술의 단점을 보완할 수 있는 수술방법으로 여러 나라에서 다양한 질환에 이용되고 있다. 본 논문에서는 대장직장암에 대한 복강경수술과 로봇수술을 비교 고찰하고 향후 전망 등에 대해서 기술하고자 한다. 본 논문에서 비교분석에 사용한 기왕의 논문을 요약하면 Table 1과 같다.

## 직장암에 있어서 복강경수술과 로봇수술의 비교

직장암수술은 대장절제술과는 다르게 골반강이라는 제한

된 공간에서 시행되기 때문에, 복강경수술에 있어서는 수술시야의 안정적 확보 및 신경, 혈관 등 직장 주변 구조물 보존 등에서 기술적으로 힘든 부분이 많다. 좁은 공간에서 정밀한 수술을 시행하기에 적합한 다빈치 로봇의 기계적 특징점으로 인하여 복강경수술의 단점을 극복할 수 있는 하나의 대안으로 생각되어 다양한 기관에서 수술이 시행되고 있다. 최초의 직장암 로봇수술은 이태리 파도바의 D'Annibale 등[2]에 의하여 2004년 보고되었다. 이후 2006년에 Pigazzi 등[3]은 직장암수술에서 가장 중요한 종양학적 개념인 직장

간막 전절제술(total mesorectal excision, TME)에 대한 로봇수술을 기존의 복강경수술과 각 6예씩 비교하여, 수술시간 및 출혈량, 림프절 개수, 원위부 절단면까지의 거리, 수술 후 재원기간에 있어 두 군간의 차이가 없으며 수술자의 수술 피로도(surgeon's fatigue level)는 의미 있게 적다는 것을 관찰하여, 직장암수술과 같은 난이도가 높은 정교한 수술을 로봇을 사용하면 쉽게 시행할 수 있다는 결과를 보고하였다. 그러나 이전까지의 3개 로봇팔을 이용한 로봇수술과 달리 직장암 로봇수술의 진정한 장점은 4개의 로봇팔을 자유자재로 움직일 수 있는 제2세대 다빈치(다빈치-S형) 사용에 의하여 나타난다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 보면 진정한 직장암 로봇수술은 2008년 연세대학교 Baik 등[4]이 보고한 18예의 TME수술이 최초라고 할 수 있다. 2009년 Baik 등[5]은 수술증례를 추가하여(n=56) 복강경수술(n=57)과 비교한 결과를 발표하였다. 즉, 수술시간은 두 군간의 차이가 없었으며 수술 후 연식의 시작이 로봇수술에서 의미 있게 빨랐고 재원기간도 짧은 것을 보였다. 수술 후 합병증 발생은 로봇 5.4%, 복강경 19.3%로 나타나 로봇수술이 회복은 빠르고 합병증은 적다고 보고하였다. 아울러 직장암수술의 정교성을 나타내는 TME 완전도 평가에서도 로봇수술은 52명에서 완전했던 반면 복강경수술에서는 43명만이 완전하다는 것을 관찰하여, 향후 재발이나 생존율에 영향을 미칠 수 있

**Table 2.** Comparison of operative outcomes between robotic and laparoscopic resection for rectal cancer

Authors	Year	Country	Sample (Lap vs. Ro)	Operation type	Results
Pigazzi et al. [3]	2006	Italy	6 vs. 6	LAR	OT (NS), EBL (NS), LN (NS), DRM (NS), HS (NS)
Baik et al. [5]	2009	Korea	56 vs. 57	LAR	OT (NS), Hb change (NS), HS* (Lap ↑), Con* (Lap ↑), SD* (Lap ↑), Cx* (Lap ↑)
Patriti et al. [6]	2009	Italy	37 vs. 29	LAR, ISR, APR	OT (NS), EBL (NS), DRM (NS), Cx (NS), HS (NS), Con* (Lap ↑)
Bianchi et al. [7]	2010	Italy	25 vs. 25	LAR, APR	OT (NS), LN (NS), CRM (NS), DRM (NS), HS (NS)
Park et al. [8]	2010	Korea	82 vs. 41	LAR, ISR, APR	OT* (Ro ↑), LN (NS), CRM (NS), DRM (NS), Cx (NS), SS (NS)
Kwak et al. [9]	2011	Korea	59 vs. 59	LAR, ISR, APR	OT* (Ro ↑), LN (NS), CRM (NS), DRM (NS), Cx (NS)
Baek et al. [10]	2011	USA	41 vs. 41	LAR, ISR, APR	OT (NS), LN (NS), CRM (NS), DRM (NS), HS (NS), EBL (NS), Con (NS)

Lap, laparoscopic surgery; Ro, robotic surgery; LAR, low anterior resection; OT, operation time; NS, no statistical difference; EBL, estimated blood loss; LN, count of harvested lymph nodes; DRM, length of distal resection margin; HS, days of hospital stay; Con, conversion rate; SD, able to permit soft diet; ISR, intersphincteric resection; APR, abdominoperineal resection; CRM, positivity of circumferential resection margin.

\* $P<0.05$ .

는 직장암수술에서의 로봇 이용의 잠재적 장점을 보고하였다. 같은 해 Patriti 등[6]이 발표한 연구에서는 수술시간, 실험 양, 원위부 절단거리, 림프절 개수, 재원기간 및 합병증에서 차이가 없었으나 로봇수술이 개복수술로의 전환이 적은 것으로 조사되었다(7명 대 0명,  $P<0.05$ ). 2010년 Bianchi 등[7]의 자료에 의하면 수술시간, 장 운동의 회복기간, 재원기간, 림프절 개수, 환상 절제연(circumferential resection margin, CRM) 침범 여부, 원위부 절제연 거리 등에서 두 군간의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 2010년 Park 등[8]의 자료에 의하면 수술시간은 로봇수술이 의미 있게 길었고

(168.6분 대 231.9분) 개복 전환율이 나 항문괄약근 보존율, 장운동 회복기간, 재원기간에서는 의미 있는 차이가 없었다. 원위부 절단 길이, 환상 절제연 침범 여부, 림프절 개수, 수술 후 합병증에서도 두 군간의 차이는 없었다. 2011년 Kwak 등[9]이 발표한 내용에 의하면, 수술시간의 경우 로봇수술(270분)이 복강경수술(228분)에 비해 길었고 획득한 림프절 개수, 환상절제연 침범 정도, 수술 후 합병증, 원위부 절제연의 거리는 두 군간의 차이가 없었다. Baek 등[10]이 2011년에 발표한 자료에서는 수술시간에서도 양 군간에 차이가 없었다. 이들 단기 수술성적을 요약하면 Table 2와 같다.

직장암수술의 경우는 단기치료 성적 외에도 수술 후 신경손상에 의한 기능적인 부작용이 중요하다. 즉 하장간막 동맥 주변으로 상하복신경총이 지나가게 되고 직장간막절제술 시 양측 하상복신경 주위로 절제를 시행하므로 수술 후 배뇨기능이나 성기능의 약화가 나타날 수 있다는 점은 잘 알려져 있다 [15]. 2009년 Patriti 등[6]의 발표에서 보면 수술 후 배뇨장애가 복강경 37명

중 1명(2.7%), 로봇 29명 중 1명(3.4%)으로 조사되었고 수술 후 발기부전은 복강경 3명(16.6%), 로봇 1명(5.5%)으로 조사되었으나 통계적인 유의성은 없었다. 2010년 Park 등 [8]의 연구에 의하면 복강경 후 배뇨장애로 인하여 요관 재삽관을 시행한 경우가 두 명 있었으나(2.4%) 로봇수술에서는 발생하지 않았다. 저자들이 시행한 전향적 연구에서는 복강경 233례, 로봇 195례를 분석한 결과 배뇨장애로 인해 재삽관을 시행한 비율은 복강경 4.3%, 로봇 6.7%로 나타나 양 군 간에 차이가 없었다( $P=0.291$ ). 하지만 로봇수술군에서 유의하게 항문연에서 8 cm 이내의 하부직장암이 많았고

**Table 3.** Comparison of operative outcomes between robotic and laparoscopic resection for colon cancer

Authors	Year	Country	Sample (Lap vs. Ro)	Operation type	Operation time (min)	Hospital stay (day)	EBL (mL)
Delaney et al. [11]	2003	USA	2 vs. 2	Right colectomy	138 vs. 269	2.5 vs. 3.5	150 vs. 100
Delaney et al. [11]	2003	USA	3 vs. 3	Sigmoid colectomy	140 vs. 200	3.7 vs. 2.7	75 vs. 167
Rawlings et al. [12]	2007	USA	15 vs. 17	Right colectomy	169.2 vs. 218.9*	5.5 vs. 5.2	66.3 vs. 40.0
Rawlings et al. [12]	2007	USA	12 vs. 13	Sigmoid colectomy	199.4 vs. 225.2	6.6 vs. 6.0	65.4 vs. 90.4
D'Annibale et al. [2]	2004	Italy	53 vs. 53	Colorectal surgery	222 vs. 240	10 vs. 10	37 vs. 21
Spinoglio et al. [13]	2008	Italy	161 vs. 50	Colorectal surgery	226.3 vs. 383.8*	8.31 vs. 7.74	NA
DeSouza et al. [14]	2010	USA	135 vs. 40	Right colectomy	118.1 vs. 158.9*	5 vs. 5	50 vs. 50

Lap, laparoscopic surgery; Ro, robotic surgery; EBL, estimated blood loss; NA, not available.

\* $P<0.05$ .

(로봇수술 141명, 72.3% 대 복강경수술 120명, 51.5%), 수술 후 배뇨장애는 하부직장암에서 더 잘 발생한다는 점을 고려한다면 로봇수술의 장점이 있는 듯 하다(unpublished data). 2012년 Kim 등[16]은 직장암에서 복강경과 로봇수술에서 자율신경을 보존하는 직장간막 전절제술을 시행한 후 배뇨기능과 성기능을 비교한 전향적 연구를 발표하였다. 수술 후 3개월째 배뇨기능의 회복이 로봇수술에서 복강경수술보다 빨랐다. 또한 남성의 경우 성기능 회복이 복강경의 경우 12개월 동안 천천히 회복된 반면 로봇의 경우 수술 후 6개월 내의 빠른 회복을 보였다.

복강경으로는 시술하기가 쉽지 않은 몇 가지 직장암 치료술식을 로봇을 사용한다면 더욱 안전하고 쉽게 시행할 수 있는 영역이 있다는 점도 로봇의 매력 중의 하나이다. 이 중 하나가 로봇체내봉합을 이용한 새로운 형태의 문합 방법이다. 즉 로봇수술은 복강경수술에 비하여 체내봉합이 비교적 용이하다. 이러한 로봇의 특장점을 이용하여 직장절제 후 문합 방법을 다르게 변형시켜 흥미로운 임상결과가 보고되었다. 2012년 Kang 등[17]은 직장암 로봇전방절제술에서 두 가지 다른 술식을 비교 분석하였다. 즉, 로봇을 이용하여 모든 박리가 종료되면 암 하방의 직장을 체내에서 로봇가위로 절단하고 병변을 항문을 통해서 꺼낸 후 로봇봉합술식을 이용하여 원형자동봉합기만을 사용한 single-stapled anastomosis한 군과 로봇술식으로 직장암 박리를 마친 후 기존의 복강경수술처럼 복벽에 작은 절개창을 만들어 병변을 꺼낸 후 double-stapled anastomosis 한 군을 비교한 결

과 두 군에서 문합부 누출에서는 차이가 없었으나 복벽 절개창 없이 항문을 통해 병변을 꺼낸 환자들에서 적은 통증, 빠른 식사 회복, 수술 후 재원기간 감소를 보고하였다. 향후 이러한 새로운 문합술식의 적용은 로봇수술만이 가질 수 있는 장점으로 인하여 점차 확대될 전망이다. 직장암의 여러 수술방법에서 로봇수술의 장점을 찾을 수 있는 또 다른 술식으로 괄약근간절제술(intersphincteric resection)을 들 수 있다. 이 수술은 항문에 근접한 초저위 직장암에서 항문 괄약근을 보존함으로써 환자의 삶의 질을 향상 시키고 환자의 만족도를 높일 수 있는 수술방법으로서 복회음절제술과의 종양학적 비교에서도 좋은 결과를 보이고 있어[18,19] 복회음절제술을 대체할 수 있는 수술로 점차 인정되고 있다. 복강경수술로도 이러한 수술이 가능하지만[20,21], 특히 남자에서 항문과 가까운 아주 깊은 골반강을 안전하게 박리하기가 쉽지 않기 때문에 로봇의 장점을 사용한다면 괄약근간절제술에 있어서도 좋은 결과를 가져올 수 있을 것으로 기대한다[22].

## 대장암에 있어서 복강경수술과 로봇수술의 비교

대장암에서 로봇수술의 역할은 직장암에서의 그것과는 다르다. 즉 직장암과 달리 대장은 광범위하게 걸쳐있으며 고정된 장기가 아니라 복강 안에서 유동하는 장기이다. 따라서 로봇의 특성상 대장수술이 직장수술에 비해서는 일반적

으로 어렵다고 할 수 있다. 반면 얻을 수 있는 잠재적 장점으로 좁은 공간에서 이루어지는 직장암수술에서처럼 신경손상을 줄인다거나 TME 완전도를 높여줄 수 있는 장점이 아니라, 체내봉합을 이용한 문합으로 얻을 수 있는 장점 혹은 일반적으로 수술난이도가 높다고 알려진 중결장동맥 주변의 림프절 박리를 용이하게 할 수 있는 장점 등으로 나타난다고 할 수 있다. 최초의 로봇대장절제술은 직장암에서의 로봇수술보다 빠른 2003년에 발표되었다. 즉 미국 클리블랜드클리닉의 Delaney 등[11]이 2예의 우측대장절제술과 3예의 에스상결장절제술을 보고하였는데 각각 1예씩의 대장암이 포함되어 있었으며 수술시간이 복강경수술보다 더 길었고 수술 중 실혈량은 우측절제술에서 로봇수술이 다소 적었다. 이후 2004년 D'Annibale 등[2]은 복강경 53예와 로봇 53예를 비교하여 수술시간 및 수술중 실혈량, 수술 후 재원일수에서 두 군간의 차이가 없음을 보고하였다. 이후 미국 및 이탈리아 등지에서 시행된 몇몇 단일기관연구에서도 복강경과 로봇이 단기수술 성적에서 큰 장점이 없음을 보고되었다[12-14]. 이들을 요약하면 Table 3과 같다. 하지만 최근 들어 대장암수술에 있어서 혈관 기시부에서 광범위하게 림프절확청술을 시행하는 D3절제술의 중요성이 강조되기 시작하면서[23] 이 부분에서의 로봇수술의 가치에 대한 연구가 이루어져야 한다고 생각한다. 또한 복강경 우측대장절제술에서 체내봉합이 체외봉합보다 수술 회복이 빠르고 합병증이 적다는 최근의 연구결과[24]를 고려한다면, 로봇관절을 이용하여 복강내 장문합을 복강경수술보다 용이하게 할 수 있는 장점이 있는 로봇대장수술에 대한 재평가가 전향적 연구를 통하여 이루어져야 한다고 생각한다.

## 복강경수술과 로봇수술의 학습곡선

복강경수술과 로봇수술의 학습곡선에 대한 비교는 다양한 수술 분야에서 연구되고 있다. 2002년 로봇과 복강경을 이용한 suturing과 dexterity skill 등을 비교하여 로봇에서 더 빨리 습득된다는 것이 조사되기도 하였고[25], 2003년 Giulianotti 등[26]은 복강경수술 경험이 없는 외과 의사들도

로봇수술의 학습곡선을 줄일 수 있다고 보고하였다. Hubens 등[27]도 복강경그룹, 2차원 시각을 사용한 로봇그룹, 3차원 시각을 사용한 로봇그룹으로 나누어 surgical skill 습득곡선을 비교한 결과, 3차원 시각을 사용한 로봇그룹이 복강경그룹보다 빨랐으며 2차원 시각을 사용한 그룹에서도 복강경그룹보다 빠른 결과가 나왔다. Ahlering 등[28]은 복강경 경험이 없었던 비뇨기과 의사가 12예의 로봇전립선절제술을 시행하여 100예가 넘는 복강경전립선절제술을 시행한 비뇨기과 의사와 수술결과가 비슷하게 나왔다고 보고하였다. 따라서 로봇수술은 좁은 골반강에서 한계점이 있을 수 있는 복강경직장수술의 기술적 어려움을 극복할 수 있는 하나의 대안이 될 수 있을 것이라 생각한다. 2010년 Pigazzi 등[29]은 복강경 경험이 없었던 외과 의사가 로봇직장간막절제술을 시행하였고 초기 20예에서 수술시간이 줄어드는 것을 보고하였다. 기존 복강경수술보다 습득곡선이 빠르다는 점과 맞물려 직장암수술 시 개복전환율이 낮다는 연구결과도 매우 흥미롭다[30]. 이미 여러 연구들에서 복강경수술을 시행하다가 개복으로 전환된 환자들에서 수술회복뿐 아니라 암치료 성적도 나쁘다는 것이 잘 알려져 있기 때문이다[31]. 단순 복강경으로는 배우기 어렵고 실제 시술하기도 어려운 여러 질환의 치료에 로봇을 이용하면 최소침습수술을 더 성공적으로 시행할 수 있다는 가능성을 보여주기 때문에, 예를 들면 미국대장항문학회(American Society of Colon and Rectal Surgeons)에서는 현재 대장항문외과 전문의가 되기 위하여 정규교육을 이수받고 있는 임상펠로우 교육과정에 로봇수술 교육을 포함시키기 위한 준비작업을 진행하고 있는 중이다.

## 복강경수술과 로봇수술의 수술비용 비교

복강경수술과 로봇수술 비용의 경우에는 각 나라별로 보험 정책이 틀리기 때문에 다양한 차이가 날 수 있다. 미국의 경우 2003년 Delaney 등[11]은 총 병원비에서 복강경 2,946달러, 로봇 3,721달러로 나왔으나 통계적인 차이는 없다고 발표하였다. 또 다른 미국 자료를 보면 우측대장절제술의 경우 전체

**Table 4.** Comparison of costs between robotic and laparoscopic resection for colorectal cancer

Authors	Year	Country	Sample (Lap vs. Ro)	Operation type	Total hospital cost (US \$)	Total OR cost (US \$)
Delaney et al. [11]	2003	USA	6 vs. 6	Colorectal surgery	2,946 vs. 3,721.5	1,411 vs. 1,417
Rawlings et al. [12]	2007	USA	15 vs. 17	Right colectomy	8,073 vs. 9,255	4,339 vs. 5,823*
Rawlings et al. [12]	2007	USA	12 vs. 13	Sigmoid colectomy	10,697 vs. 12,335	4,974 vs. 6,059
DeSouza et al. [14]	2010	USA	135 vs. 40	Right colectomy	12,361 vs. 15,192*	NA
Baek et al. [32]	2011	Korea	150 vs. 154	Rectal surgery	9,234 vs. 13,899*	NA

Lap, laparoscopic surgery; Ro, robotic surgery; OR, operating room; NA, not available.

\* $P < 0.05$ .

병원비의 평균값은 복강경 8,073달러, 로봇 9,255달러로 두 군간의 차이는 없었다. 하지만 수술에 들어간 비용으로만 계산할 경우 복강경 4,339달러, 로봇 5,823달러로 통계적으로 의미 있게 로봇수술료가 비쌌으나 에스상결장절제술에서는 전체 비용 및 수술비용에서 두 군간의 의미 있는 차이는 나지 않았다[12]. 비슷한 시기의 또 다른 미국병원 자료에 의하면 우측대장절제술의 경우 전체 병원비가 복강경 평균 12,361달러, 로봇 15,192달러였으며 이중 환자들이 부담하는 비용도 복강경 7,449달러 대 9,303달러로 로봇수술이 의미 있게 비싼 것으로 조사되었다[14]. 본원에서도 직장암 치료에 있어서 두 수술간의 가격을 비교 조사하였다[32]. 2007년부터 2010년까지 복강경 150명 로봇 154명의 자료를 분석하였고 수술 전 방사선치료나 항암치료, 수술 전 검사 등을 제외한 환자의 총 병원비용은 복강경 9,234달러 대 로봇 13,899달러로 약 1.5배 차이가 났었다. 현재 한국의 보험 구조상 복강경의 경우 일부 보험 적용이 되기 때문에 실제로 환자가 부담하는 비용을 보면 복강경 4,030달러 대 로봇 11,755달러로 로봇수술의 경우 약 2.9배에 해당하는 비용이 더 들어간 것으로 조사되었다. 이렇게 두 수술간 총 병원비용 차이에 비하여 본인부담 차이가 상대적으로 큰 한국적 상황은 향후 개선되어야 할 부분으로 여겨진다. 현재 학술적으로 입증되고 있는 로봇수술의 여러 장점들을 고려한 진정한 비용대비효과(cost effectiveness)에 관한 연구도 앞으로 반드시 시행되어야 한다. 이상의 수술비용에 관한 연구들을 요약하면 Table 4와 같다. 참고로, 최근 홍콩에서는 전립선암과 직장암에서의 로봇수술에 대하여 보험 적용을 시작하였다.

## 복강경수술과 로봇수술의 재발률과 생존율 비교

현재까지 5년 생존율 및 재발률을 비교한 연구결과는 발표되지 않은 상태이며 몇몇 논문에서 중단기 결과가 보고되었다. 2009년 Patriti 등[6]이 발표한 내용에 의하면 복강경 18.7개월, 로봇 29.2개월을 비교하였고 복강경의 경우 국소 재발률은 5.4%, 로봇의 경우는 0%로 조사되었으나 통계적인 차이는 없다고 언급되었다. 2011년 Kwak 등[9]이 발표한 저자들의 연구에서 복강경 13개월 로봇 17개월의 단기결과를 조사한 결과 국소 재발률, 원격 재발률, 전체 재발률에 있어서 두 군간의 차이가 없었다. 장기적인 종양학적 결과는 현재 진행되고 있는 국제 다기관 무작위비교연구(Robotic versus Laproscopic Resection for Rectal Cancer trial) [33]를 포함한 여러 전향적 연구에 의하여 조금 더 시간이 경과한 후 확인될 것이다.

## 로봇수술에 적용되고 있는 새로운 기술

현재 전세계적으로 사용되고 있는 3세대 다빈치로봇(다빈치-Si)에는 기존 복강경술식을 통하여 얻어질 수 있는 수술결과를 더 좋게 만들 수 있는 몇 가지 새로운 기능이 개발되었거나 개발 중이다. 그 중 하나가 FireFly로 불리는 형광이미지(fluorescent image)로 유럽 일부 국가에서는 이미 사용 중이며 미국과 우리나라에서도 곧 사용허가가 나올 전망이다. 이 기능을 사용하면 수술 중에 실시간으로 애매한 혈관구조를 콘솔에서 직접 확인한다거나, 더 중요하게는 문

합할 대장이나 직장단단부의 혈액관류(blood perfusion)를 형광이미지로 확인하여 혈액공급이 충분한 부분을 선택하여 문합 부위를 결정할 수 있다. 이렇게 하면 직장암수술 후 가장 흔하고 모든 외과의사에게 골치 아픈 합병증 중의 하나인 문합부누출을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 기대되고 있다. 실제로 이러한 형광이미지를 기존의 개복수술에서 사용하여 고식적인 방법으로 혈류를 판단하여 수술한 환자와 비교한 결과 특히 70세 이상의 고연령층에서 문합부누출을 획기적으로 줄였다(4.3% 대 11.9%)는 연구결과가 최근에 발표되었다[34]. 또 한가지 새로운 기술은 로봇용 자동절단기이다(robotic linear stapler). 이 기구는 조직 두께를 인식할 수 있는 기능이 있어 각각 환자의 조직 특성에 따라 적절한 자동절단기 카트리지(cartridge)를 선택할 수 있도록 하는 맞춤형 수술이 가능하고 이에 따라 문합부 누출 등의 합병증을 더욱 줄여줄 수 있을 것으로 기대된다. 실제로 같은 직장암 환자라도 방사선 유무나 비만도에 따라 조직의 두께나 경도가 달라 이 환자에서 가장 적합한 자동절단기가 무엇일까 선택에 고민될 때가 있는 것이 현실이다. 단일공 복강경수술(single-port laparoscopic surgery)도 로봇공학을 이용하면 지금보다 훨씬 쉽고 안전하게 시행할 수 있을 것으로 전망하고 있으며 현재 다빈치 시스템에 적용할 수 있는 단일공 로봇수술 기술 개발이 종료되어 조만간 임상에서 사용될 예정이다.

## 결 론

전립선암 치료에서 다빈치 로봇수술은 이미 표준수술이 되었다. 전립선과 해부학적 위치가 비슷하고 기존의 개복수술이나 복강경수술이 늘 쉽지만은 않은 직장암에서도 로봇수술은 향후 많은 역할을 할 수 있는 잠재성이 충분하다. 학습곡선이 빨라 쉽게 배울 수 있을 뿐 아니라, 좁은 공간에서 이루어져야 하는 비교적 어려운 수술도 쉽게 시행할 수 있는 로봇의 특성 때문에 개복전환이 낮다는 것도 이미 여러 연구들이 보여주고 있다. 아울러 수술 후 배뇨기능과 성기능의 빠른 회복 등도 점차 밝혀지고 있는 로봇수술의 장점 중의 하나이다. 장기적인 종양학적 안전성을 포함한 여러 핵심 논점들은 향후

더 많은 연구를 통하여 밝혀지게 될 것이다. 참고로, 현재 경북대, 연세대 및 고려대가 다기관 무작위연구인 Comparison of Laparoscopic vs. Robot-Assisted Surgery for Rectal Cancer trial을 진행 중에 있고 이 연구를 통해 중하부직장암에서의 로봇수술의 종양학적 우월성에 대한 가설이 평가될 것이다.

촉감을 가진 로봇은 현재 로봇공학에서 비교적 기초적인 기술로 인식되고 있고 이미 비의료용으로는 여럿 개발되어 있다. 하지만 아직 상용화된 수술용 로봇에는 이러한 기능을 가진 로봇이 없다. 실제 촉감이 없다는 부분은 로봇수술 초기에는 단점으로 자주 지적되었지만 현재는 그다지 문제가 되지는 않는다. 그 이유는 우리가 시행하고 있는 거의 대부분의 대장-직장수술은 만저가면서 수술범위를 결정하는 시술이 아니라 육안적 surgical plane에 따라 수술하는 것이기 때문이다. 하지만 촉감기능이 추가된다면 pelvic exenteration 같이 더 광범위한 절제수술에까지 로봇수술의 적용을 넓힐 수 있어 현재의 수술방법으로는 절제 불가능한 종양이나 재발암에서 절제율을 높일 수 있는 가능성도 있다고 생각한다. 전술한 새로운 기능 등을 포함하여 수술용 로봇은 앞으로 획기적으로 진화되어 나갈 것이다. 이러한 수술용 로봇의 발전은 궁극적으로 환자들에게도 지금보다 나은 장점을 제공해 줄 것으로 확신한다. 고수술비용 문제는 앞으로 반드시 해결되어야 할 과제이며 로봇수술의 여러 장점들이 증명되고 있는 현 시점에서 다시 한번 의료보험적용에 대한 국내 논의가 있어야 한다.

**핵심용어:** 대장직장수술; 로봇수술; 복강경수술

## REFERENCES

1. National Cancer Information Center. Cancer facts & figures 2009 in the Republic of Korea [Internet]. Goyang: National Cancer Information Center; 2011 [cited 2012 Jun 26]. Available from: [http://www.cancer.go.kr/ncic/cics\\_g/cics\\_g02/cics\\_g027/1647906\\_6065.html](http://www.cancer.go.kr/ncic/cics_g/cics_g02/cics_g027/1647906_6065.html).
2. D'Annibale A, Morpurgo E, Fiscon V, Trevisan P, Sovernigo G, Orsini C, Guidolin D. Robotic and laparoscopic surgery for treatment of colorectal diseases. Dis Colon Rectum 2004;47: 2162-2168.
3. Pigazzi A, Ellenhorn JD, Ballantyne GH, Paz IB. Robotic-

- assisted laparoscopic low anterior resection with total mesorectal excision for rectal cancer. *Surg Endosc* 2006;20:1521-1525.
4. Baik SH, Ko YT, Kang CM, Lee WJ, Kim NK, Sohn SK, Chi HS, Cho CH. Robotic tumor-specific mesorectal excision of rectal cancer: short-term outcome of a pilot randomized trial. *Surg Endosc* 2008;22:1601-1608.
5. Baik SH, Kwon HY, Kim JS, Hur H, Sohn SK, Cho CH, Kim H. Robotic versus laparoscopic low anterior resection of rectal cancer: short-term outcome of a prospective comparative study. *Ann Surg Oncol* 2009;16:1480-1487.
6. Patriti A, Ceccarelli G, Bartoli A, Spaziani A, Biancafarina A, Casciola L. Short- and medium-term outcome of robot-assisted and traditional laparoscopic rectal resection. *JLS* 2009;13:176-183.
7. Bianchi PP, Ceriani C, Locatelli A, Spinoglio G, Zampino MG, Sonzogni A, Crosta C, Andreoni B. Robotic versus laparoscopic total mesorectal excision for rectal cancer: a comparative analysis of oncological safety and short-term outcomes. *Surg Endosc* 2010;24:2888-2894.
8. Park JS, Choi GS, Lim KH, Jang YS, Jun SH. Robotic-assisted versus laparoscopic surgery for low rectal cancer: case-matched analysis of short-term outcomes. *Ann Surg Oncol* 2010;17:3195-3202.
9. Kwak JM, Kim SH, Kim J, Son DN, Baek SJ, Cho JS. Robotic vs laparoscopic resection of rectal cancer: short-term outcomes of a case-control study. *Dis Colon Rectum* 2011;54:151-156.
10. Baek JH, Pastor C, Pigazzi A. Robotic and laparoscopic total mesorectal excision for rectal cancer: a case-matched study. *Surg Endosc* 2011;25:521-525.
11. Delaney CP, Lynch AC, Senagore AJ, Fazio VW. Comparison of robotically performed and traditional laparoscopic colorectal surgery. *Dis Colon Rectum* 2003;46:1633-1639.
12. Rawlings AL, Woodland JH, Vegunta RK, Crawford DL. Robotic versus laparoscopic colectomy. *Surg Endosc* 2007;21:1701-1708.
13. Spinoglio G, Summa M, Piora F, Quarati R, Testa S. Robotic colorectal surgery: first 50 cases experience. *Dis Colon Rectum* 2008;51:1627-1632.
14. DeSouza AL, Prasad LM, Park JJ, Marecik SJ, Blumetti J, Abcarian H. Robotic assistance in right hemicolectomy: is there a role? *Dis Colon Rectum* 2010;53:1000-1006.
15. Nesbakken A, Nygaard K, Bull-Njaa T, Carlsen E, Eri LM. Bladder and sexual dysfunction after mesorectal excision for rectal cancer. *Br J Surg* 2000;87:206-210.
16. Kim JY, Kim NK, Lee KY, Hur H, Min BS, Kim JH. A comparative study of voiding and sexual function after total mesorectal excision with autonomic nerve preservation for rectal cancer: laparoscopic versus robotic surgery. *Ann Surg Oncol* 2012 Mar 21 [Epub]. DOI: 10.1245/s10434-012-2262-1.
17. Kang J, Min BS, Hur H, Kim NK, Lee KY. Transanal specimen extraction in robotic rectal cancer surgery. *Br J Surg* 2012;99:133-136.
18. Schiessel R, Novi G, Holzer B, Rosen HR, Renner K, Holbling N, Feil W, Urban M. Technique and long-term results of intersphincteric resection for low rectal cancer. *Dis Colon Rectum* 2005;48:1858-1865.
19. Saito N, Ono M, Sugito M, Ito M, Morihiro M, Kosugi C, Sato K, Kotaka M, Nomura S, Arai M, Kobatake T. Early results of intersphincteric resection for patients with very low rectal cancer: an active approach to avoid a permanent colostomy. *Dis Colon Rectum* 2004;47:459-466.
20. Orsenigo E, Di Palo S, Vignali A, Staudacher C. Laparoscopic intersphincteric resection for low rectal cancer. *Surg Oncol* 2007;16 Suppl 1:S117-S120.
21. Fujimoto Y, Akiyoshi T, Kuroyanagi H, Konishi T, Ueno M, Oya M, Yamaguchi T. Safety and feasibility of laparoscopic intersphincteric resection for very low rectal cancer. *J Gastrointest Surg* 2010;14:645-650.
22. Leong QM, Son DN, Cho JS, Baek SJ, Kwak JM, Amar AH, Kim SH. Robot-assisted intersphincteric resection for low rectal cancer: technique and short-term outcome for 29 consecutive patients. *Surg Endosc* 2011;25:2987-2992.
23. West NP, Hohenberger W, Weber K, Perrakis A, Finan PJ, Quirke P. Complete mesocolic excision with central vascular ligation produces an oncologically superior specimen compared with standard surgery for carcinoma of the colon. *J Clin Oncol* 2010;28:272-278.
24. Chaves JA, Idoate CP, Fons JB, Oliver MB, Rodriguez NP, Delgado AB, Lizoain JL. A case-control study of extracorporeal versus intracorporeal anastomosis in patients subjected to right laparoscopic hemicolectomy. *Cir Esp* 2011;89:24-30.
25. Yohannes P, Rotariu P, Pinto P, Smith AD, Lee BR. Comparison of robotic versus laparoscopic skills: is there a difference in the learning curve? *Urology* 2002;60:39-45.
26. Giulianotti PC, Coratti A, Angelini M, Sbrana F, Cecconi S, Balestracci T, Caravaglios G. Robotics in general surgery: personal experience in a large community hospital. *Arch Surg* 2003;138:777-784.
27. Hubens G, Coveliers H, Balliu L, Ruppert M, Vaneerdeweg W. A performance study comparing manual and robotically assisted laparoscopic surgery using the da Vinci system. *Surg Endosc* 2003;17:1595-1599.
28. Ahlering TE, Skarecky D, Lee D, Clayman RV. Successful transfer of open surgical skills to a laparoscopic environment using a robotic interface: initial experience with laparoscopic radical prostatectomy. *J Urol* 2003;170:1738-1741.

29. Pigazzi A, Luca F, Patriti A, Valvo M, Ceccarelli G, Casciola L, Biffi R, Garcia-Aguilar J, Baek JH. Multicentric study on robotic tumor-specific mesorectal excision for the treatment of rectal cancer. *Ann Surg Oncol* 2010;17:1614-1620.
30. Memon S, Heriot AG, Murphy DG, Bressel M, Lynch AC. Robotic versus laparoscopic proctectomy for rectal cancer: a meta-analysis. *Ann Surg Oncol* 2012;19:2095-2101.
31. Molloo H, Mamazza J, Poulin EC, Burpee SE, Bendavid Y, Klein L, Gregoire R, Schlachta CM. Laparoscopic resections for colorectal cancer: does conversion survival? *Surg Endosc* 2004;18:732-735.
32. Baek SJ, Kim SH, Cho JS, Shin JW, Kim J. Robotic versus conventional laparoscopic surgery for rectal cancer: a cost analysis from a single institute in Korea. *World J Surg* 2011 [Submitted].
33. Collinson FJ, Jayne DG, Pigazzi A, Tsang C, Barrie JM, Edlin R, Garbett C, Guillou P, Holloway I, Howard H, Marshall H, McCabe C, Pavitt S, Quirke P, Rivers CS, Brown JM. An international, multicentre, prospective, randomised, controlled, unblinded, parallel-group trial of robotic-assisted versus standard laparoscopic surgery for the curative treatment of rectal cancer. *Int J Colorectal Dis* 2012;27:233-241.
34. Cahill RA, Ris F, Mortensen NJ. Near-infrared laparoscopy for real-time intra-operative arterial and lymphatic perfusion imaging. *Colorectal Dis* 2011;13 Suppl 7:12-17.



### Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 대장 및 직장암 수술에 대한 필자들의 경험에 대한 객관적인 비교, 분석과 최신의 문헌 보고를 통하여 로봇 대장 및 직장암 수술의 현 주소와 앞으로 발전 방향을 잘 보여 주고 있다. 특히 로봇수술이 복강경수술에 비해 결장암보다는 직장암수술에서 수술합병증 및 개복전환율 측면에서의 차이, 해부학적 구조 및 생리학적인 기능보존, 인체공학 측면에서 우월한 면과 중양 수술후의 회복, 생존과 재발에 대해 폭 넓게 기술하였다. 현재 로봇 수술이 복강경 수술에 비해 고비용이지만 앞으로는 적용이 보다 더 용이해져야 하며, 향후 로봇수술의 보험 적용을 할 수 있는 첫 단계로서 로봇 수술의 장점에 대한 객관적 근거를 마련하는 것이 그 첫 단계로 매우 중요하게 사료되는 바 본 논문에서의 내용은 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

[정리: 편집위원회]