



위암에서의 로봇위절제술: 수술 후 단기 성적 및 장기 종양학적 안정성 검토

김유민

연세대학교 의과대학 세브란스병원 외과학교실

Robotic Gastrectomy for Gastric Cancer: A Review of Postoperative and Oncologic Outcomes

Yoo Min Kim

Department of Surgery, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Robotic gastrectomy is a promising alternative to laparoscopic surgery for gastric cancer. This review examines the indications and the short-term surgical and long-term oncologic results of robotic gastrectomy. The indications for robotic gastrectomy have evolved in parallel to those for laparoscopic gastrectomy, with D1+ lymphadenectomy performed for early gastric cancer and D2 lymphadenectomy reserved for advanced gastric cancer. Regarding short-term outcomes, robotic gastrectomy is associated with less intraoperative blood loss, and longer operation times, compared with laparoscopic gastrectomy. Mortality and overall complication rates are similar between the two approaches, although robotic gastrectomy has been associated with lower rates of severe complications requiring surgical intervention or intensive care unit admission as well as infectious complications, such as anastomotic leakage, pancreatic fistula, and intraabdominal abscess. Long-term oncologic outcomes, including overall and disease-free survival and recurrence rates, were comparable between robotic and laparoscopic surgeries. Despite the associated high cost, the potential of robotic gastrectomy is expected to be realized with the recent introduction of various robotic surgical systems, which should aid in resolving cost concerns through market competition. Furthermore, the development of new evaluation tools that can objectively assess ergonomic benefits and surgeon fatigue should demonstrate the practical value of robotic surgery in the treatment of gastric cancer.

Received December 11, 2024
Revised December 17, 2024
Accepted December 17, 2024

Corresponding author:
Yoo Min Kim
E-mail: ymkim@yuhs.ac
<https://orcid.org/0000-0002-5176-804X>

Key Words: Gastric cancer; Gastrectomy; Robot; Laparoscopy; Stomach neoplasms

INTRODUCTION

위암의 표준 치료는 체계적 림프절 절제를 포함한 근치적 위절제술이다. 지난 30년간 복강경 수술이 도입되어 널리 시행되어 왔으나, 개복수술과 비교하여 높은 기술적 난이도와 가파른 학습 곡선이라는 제한점을 가지고 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 수술용 로봇

을 이용한 수술이 도입되었다. 현재 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 수술로봇 시스템은 Intuitive Surgical의 다빈치(da Vinci) 수술로봇이다. 이 첨단 로봇 시스템은 3D 고해상도 입체 영상, 수술기구 사용 시 진동 제거 및 필터링 기능, 다각도 굴절이 가능한 관절이 있는 수술 기구와 같은 혁신적인 기술을 통해 외과 영역에 전례 없는 수술적 정밀성과 유연성을 제공한다[1]. 특히 위



암 수술과 같이 해부학적으로 복잡하고 섬세한 조작이 요구되는 영역에서 로봇수술의 장점은 더욱 두드러진다. 본 종설에서는 위암 수술에서의 로봇위절제술(robotic gastrectomy, RG)의 적응증과, 수술 후 단기 성적 및 장기 종양학적 성적을 검토하고자 한다.

MAIN SUBJECTS

Indications

RG는 2002년 Giulianotti 박사가 세계 최초로 시행한 이후[2], 2003년 일본의 Hashizume 교수[3], 2005년 한국의 형우진 교수[1]에 의해 성공적으로 도입되었다. 이후 2008-2010년 사이 한국에서 위암 로봇수술이 확장되며 수술 술기와 절차가 표준화되었다[4-7]. 일본의 경우 2018년 보험 적용 이후 RG가 급격히 증가하였으며, 현재 중국에서도 활발히 시행되고 있다.

RG의 적응증은 복강경 위절제술(laparoscopic gastrectomy, LG)의 적응증과 동일하게 발전해 왔다. LG는 1990년대 후반부터 2000년대 초반에는 주로 조기위암에서의 원위부 위아전절제술이 시행되었으며, 2000년대 중반에는 숙련된 외과의들에 의해 진행성 위암에서의 원위부 위아전절제술과 조기위암에서의 위전절제술로 확대되었다. 2010년대 중반에는 한국(KLASS-01)과 일본(JCOG0912)의 무작위 대조군 연구(randomized controlled trial, RCT)를 바탕으로 조기위암에서의 원위부 위아전절제술이 한국, 일본 위암 진료지침에서 권고되었다[8,9]. 최근 2020년대에는 한국(KLASS-02)과 중국(CLASS-01)의 RCT를 통해 진행성 위암에서 D2 림프절 절제를 포함한 복강경 원위부 위아전절제술의 비열등성이 입증되었다[10,11].

현재 RG는 LG의 적응증을 적용하여, 조기위암의 경우 D1+ 림프절 절제술을 포함한, 진행성 위암의 경우 D2 림프절 절제술을 포함한 위절제술이 시행되고 있다. D1 림프절 절제술은 위 주변 림프절(perigastric lymph nodes)을 제거하는 것이며, D2 림프절 절제술은 위 주변 림프절에 더해 2군 림프절(2nd-tier nodes), 즉 좌위동맥(left gastric artery), 비장동맥(splenic artery), 총간동맥(common hepatic artery) 등의 복강동맥(celiac axis) 가지를 따라 위치한 림프절을 제거하는 것을 의미한다. 이에 D1+ 림프절 절제술은 D1 림프절 절제술에 더

하여 2군 림프절의 일부를 선택적으로 절제하는 것이다 [8,9]. 특히 일부 후향적 연구나, 코호트 연구 등에서 위상부나 후벽과 같이 복강경 수술이 기술적으로 어려운 부위의 종양이나 비만 환자에서 로봇수술의 장점이 있을 것이라고 예상되고 있으나, 아직 3상 RCT 결과는 없다. 또한, 광범위한 림프절 전이가 의심되거나 인접 장기 침윤이 있는 경우, 그리고 원격 전이가 있는 경우는 LG의 경우와 같이 상대적 금기증으로 간주된다. 특히 위 상부에 위치한 진행성 위암에서의 최소침습 수술(복강경 혹은 로봇수술)의 종양학적 안전성과 적용 가능성에 대해서는 현재 3상 임상연구(KLASS-06)가 진행 중이며, 환자 등록을 완료하고 결과를 기다리고 있는 상태이다. 이 연구 결과는 위 상부 진행성 위암에서의 최소침습 수술의 적응증 확립에 중요한 근거를 제공할 것으로 기대된다.

Short term outcomes

LG가 개복 위절제술(open gastrectomy, OG)과 비교 시 상처, 회복 속도, 수술 후 통증 등의 부분에서 통계적으로 유의한 장점을 가지고 있다(Table 1). 일반적으로 LG와 복강내 접근방법이 같은 RG의 경우 단기 수술 결과에 대한 평가는 주로 LG와 비교하여 확인해 볼 수 있다. 또한, 발생할 수 있는 합병증은 대체로 기존의 LG와 유사한 양상을 보인다. 문합부 누출, 복강 내 출혈, 폐합병증, 상처부위감염, 문합부 협착 등이 주요 합병증으로 보고되고 있으며, 그 발생률은 복강경 수술과 비교하여 유사하거나 다소 낮은 수준을 보인다. 로봇 시스템 특유의 합병증으로는 로봇 팔에 의한 조직 손상이나 기계적 오작동으로 인한 수술 지연 등이 있으나, 그 빈도는 매우 낮다.

각각에 대하여 자세히 살펴보면, 수술 시간은 대부분의 후향적, 전향적 코호트 연구에서 복강경 수술에 비해 20-50분 정도 더 소요되는 것으로 나타났다[12-14]. 2개의 RCT에서도 이러한 차이가 유의하게 관찰되었는데, Lu 등의 연구에서는 각각 201.2분과 181.6분(p < 0.001)이었다. Ojima 등의 RCT에서도 로봇수술의 수술 시간이 297분, 복강경 수술이 245분으로 유의한 차이가 있었다(p = 0.001) [15,16]. 최근 브라질의 RCT에서도 로봇수술이 개복 수술에 비해 유의하게 더 긴 수술 시간을 보였다(358분 vs. 214분, p < 0.001) [17]. 이는 주로 로봇 시스템 설치와 도킹(docking) 및, 수술 중 기구 변경에 추가 시간이 필요하기 때문이다.

Table 1. Comparative Clinical Studies of Short Term Outcome between RG and LG

Authors (year/country)	Study design	Patients	Enroll number	Primary endpoint	Groups	Retrieved lymph nodes	Operation time (min)	Blood loss (ml)	Major complications (%)*	Morbidity (%)†	Mortality (%)‡
Kim et al. (2016/Korea) [26]	Prospective Multicenter	cT1-4aN0/+	434	Short-term outcomes	RG 223 LG 221	34 (9-72) 32 (11-76) p = 0.587	221 (105-431) 178 (55-550) p < 0.001	50 (5-500) 55 (6-830) p = 0.318	1.1 1.1 p = 0.999	11.9 10.3 p = 0.619	0.0 0.0 N/A
Lu et al. (2021/China) [15]	RCT Single center	cT1-4aN0/+	283	Short-term outcomes	RDG 141 LDG 143	40.9 ± 11.2 39.9 ± 12.2 p = 0.452	201.2 ± 32.0 181.6 ± 44.4 p < 0.001	41.2 ± 45.7 55.7 ± 70.5 p = 0.045	1.4 2.1 p = 0.039	9.2 17.6 p = 0.039	0.0 0.0
Ojima et al. (2021/Japan) [16]	RCT Two centers	estage I-III	241	Short-term outcomes	RG 119 LG 122	30 (10-103) 35 (5-92) p = 0.09	297 (179-654) 245 (131-534) p < 0.001	25 (5-475) 25 (5-1,405) p = 0.180	5.3 16.2 p = 0.01	8.8 19.7 p = 0.02	0.0 0.0
Guerrini et al. (2020/multinational) [25]	Meta analyses 40 Retrospective		11,712	Short & long term outcomes	RG 5,402 LG 12,310		267.34 220.48 p < 0.001	98.77 115.02 p < 0.001	4.13 6.44 p = 0.005		0.36 0.30 p = 0.25
Li et al. (2023/China) [27]	Retrospective Multicenters	pT1-4aN0-3bM0	6,358	Short & long term outcomes	RG 1,776 LG 1,776 PSM	32.5 ± 12.1 30.7 ± 12.0 p < 0.001	248.5 ± 66.1 220.0 ± 42.4 p < 0.001	126.8 ± 92.3 142.5 ± 92.3 p < 0.001	2.5 2.9 p = 0.023	12.6 15.2 p > 0.999	0.2 0.1
Lu et al. (2024/China) [13]	Retrospective Multicenters	pT1-4aN0/+M0	3,599	Short & long term outcomes	RG 1,034 LG 1,034 PSM		222.96 209.82 p < 0.001	97.51 117.68 p < 0.001			
Du et al. (2024/multinational) [14]	Meta analyses 86 Retrospective, observational		68,755	Short & long term outcomes	RG 20,894 LG 47,861	37.1 34.4	265.3 228.0	81.1 99.1	4.1 7.3 p < 0.001	15.5 17.9 p < 0.001	0.9 1.0 p = 0.64

Data are reported as numbers, mean ± standard deviation, median (range): retrieved lymph nodes, operation time, blood loss.

LG, laparoscopic gastrectomy; PSM, propensity score matching; RCT, randomized controlled trial; RDG, robotic distal gastrectomy; LDG, laparoscopic distal gastrectomy; RG, robotic gastrectomy; N/A, not available.

*Clavien-Dindo classification 3 or more (requiring surgical intervention or intensive care unit admission).

†Overall complication.

‡In-hospital or 30-day mortality.

Table 2. Clinical Studies of Long Term Oncologic Outcome between RG and LG

Authors (year/country)	Study design	Patients	Enroll number	Groups	Follow-up period (mo)	3-year OS (%)	3-year RFS (%)	Recurrence rate (%)
Guerrini et al. (2020/multinational) [25]	Meta analyses 40 Retrospective		11,712	RG 1,322 LG 1,942				9.9 13.5 p = 0.25
Du et al. (2024/multinational) [14]	Meta analyses 86 Retrospective, observational		68,755	RG 6,115 LG 8,221				8.1 9.4 p = 0.21
Suda et al. (2022/Japan) [22]	Retrospective Multicenters	cstage I-II	1,127	RG 326 LG 752 IPTW	36	96.3 89.6 p = 0.009	92.3 87.2 p = 0.073	
Lu et al. (2024/China) [13]	Retrospective Multicenters	pT1-4aN0/+M0	3,599	RG 1,034 LG 1,034 PSM		85.2 84.4 p = 0.647	83.7 83.1 p = 0.745	15.0 15.0 p = 0.988
Li et al. (2024/China) [23]	Retrospective Multicenters	pT1-4aN0-3bM0	6,364	RG 2,026 LG 2,026 PSM	39 (68-56)	83.9 81.8 p = 0.068	80.8 79.5 p = 0.240	19.3 20.8 p = 0.219
Lu et al. (2024/China) [24]	RCT	cT1-4aN0/1	283	RG 141 LG 142	48	88.7 78.0 p = 0.022	85.8 73.2 p = 0.033	12.1 21.1 p = 0.046

Follow-up period (mo): data are reported as numbers, median (range).

IPTW, inverse probability of treatment weighting; LG, laparoscopic gastrectomy; OS, overall survival; PSM, propensity score matching; RCT, randomized controlled trial; RFS, relapse free survival; RG, robotic gastrectomy.

수술 중 출혈량은 로봇수술에서 현저히 적었다. 3개의 중국의 RCT와 메타분석 모두에서 RG의 출혈량이 LG나 OG보다 적은 것으로 보고되었다. Wang 등[18]의 연구에서 RG 94.2 ml, LG 152.8 ml ($p < 0.001$)였고, Pan 등[19]의 연구에서는 각각 41.3 ml, 83.7 ml ($p < 0.001$)였다. Lu 등[15]의 연구에서도 RG 41.2 ml, LG 55.7 ml ($p < 0.001$)로 나타났다. 메타분석에서도 RG의 출혈량이 더 적었다(98.77 ml vs. 115.02 ml, $p < 0.001$) [12]. 단, Ojima 등[16]의 일본의 RCT에서는 두 군 간 출혈량에 유의한 차이가 없었다(25 ml vs. 25 ml, $p = 0.18$).

RG의 개복 전환율(conversion rate to open surgery)을 검토해 보면, 브라질 RCT에서는 6.7% (2/29)로 보고되었으나[17], 일본, 중국 RCT에서는 Ojima 등의 연구에서는 RG군이 3.4% (4/119), LG군이 1.6% (2/122)로 통계적으로 유의한 차이는 없었다. Lu 등의 연구에서도 RG군이 3명, LG군이 2명으로 유사한 수준이었으며, 최근 수행된 일본과 중국의 대규모 다기관 연구들에서도 개복 전환율은 0-2% 수준으로 매우 낮게 보고되었다[12,15]. 일반적으로 로봇수술은 3차원 입체영상과 자유로운 관절 운동 등의 장점이 있어 개복 전환이 적을 것으로 기대되었으나, 실제 임상연구들에서는 복강경 수술

과 비슷한 수준의 전환율을 보여주고 있었으나, 최근 발표된 메타 분석에서는 22개 연구를 분석한 결과, RG군 (55/8,010, 0.69%)이 LG군(147/15,344, 0.96%)에 비해 개복 전환율이 유의하게 낮았다(odds ratio [OR], 0.62; 95% confidence interval [CI], 0.45-0.86; $p = 0.004$, $I^2 = 0\%$). 이는 개복 수술로의 전환율을 낮추는 데 있어 로봇수술의 효과를 보여준 결과이다[14].

총 절제된 림프절 개수는 RCT 연구들에서 RG와 기존 수술법(OG 또는 LG) 간에 유사하다[16,17]. 그러나 중국 RCT에서는 RG가 위 주변 림프절 외 부위(제7, 9, 11p, 12a번 등)의 림프절 수를 더 많이 절제하고, D2 림프절 절제 불충분율이 낮았다[15]. 대규모 다기관 후향적 연구에서도 RG와 기존 수술법 간 평균 림프절 절제 개수는 30개 이상으로 유사하였으며, RG군에서 위 주변 림프절 외 부위의 림프절 수가 더 많이 절제되는 것으로 보고하였다[12]. 미국 National Cancer Database (NCDB) 분석에 따르면, 성향 점수를 보정한 환자-대조군 분석 결과 RG군에서 기준 이상의 림프절(≥ 16 개) 절제율이 63.5%로, LG군의 60.4%에 비해 유의하게 높았다[20]. 따라서 숙련된 외과 의사가 시행한 경우 RG는 기존 수술법과 비교하여 림프절 절제 측면에서 LG에 비하여 열등하지 않

았다. 다만, RG의 림프절 절제술이 LG보다 우위일 것을 기대하였으나, 대부분의 발표된 연구 결과들은 차이가 없었다. 이는 이미 복강경 수술 술기가 종양학적으로 안전하고 완성되었다고도 볼 수 있다. 다만 일부 후향적 연구에서는 suprapancreatic area나, splenic hilar 부위 림프절 절제술 시 더 많은 림프절이 절제되는 것으로 나타났다지만, 확증적 연구는 없다.

수술 후 사망률은 RCT 및 메타분석에서 RG, LG, 및 OG 간에 유의미한 차이가 없었으며, 대부분의 연구에서 0%로 보고되었다. 최근 미국 NCDB 분석에서는 RG가 LG에 비해 90일 사망률(3.7% vs. 5.0%, $p < 0.001$)이 유의미하게 낮았으며, 중국 다기관 연구에서는 두 수술 간 사망률의 차이가 없음을 보고하였다[13,20]. 수술 후 합병증의 경우, 일본 RCT에서는 Clavien-Dindo 등급 II 이상 합병증이 LG군에서 19.7%, RG군에서 8.8%로 RG가 유의미하게 낮은 발생률을 보였다. 그러나 문합부 누출, 췌장 누출, 복강 내 감염과 같은 주요 합병증의 발생률은 RG와 LG 간에 유의미한 차이가 없었다[16]. 중국 RCT에서는 RG가 LG에 비해 낮은 전체 합병증 발생률(9.2% vs. 17.6%, $p = 0.039$)을 보고하였고[15], 메타 분석에서는 RG가 LG에 비해 전반적인 합병증 발생률(Clavien-Dindo III 이상 $OR = 0.65$, $p < 0.001$)이 낮았다. 특히 췌장 누출 및 복강 내 감염($OR = 0.60$, $p < 0.001$)과 같은 합병증에서 더 유리한 결과를 보였으나, 문합부 누출의 발생률은 두 군 간 유의미한 차이를 보이지 않았다[14]. 최근 대규모 코호트 연구에서는 문합부 누출 및 복강 내 감염과 같은 주요 합병증 발생률은 두 군에서 유사하였으나, RG는 복강 내 출혈(1.8% vs. 3.5%, $p = 0.020$) 및 합병증에 따른 재수술이 더 적은 결과를 보였다[13,20].

Long term oncologic outcomes

최근 메타분석 결과에 따르면 RG의 장기 종양학적 결과는 RG 후 5년 생존율은 약 80–90%로 보고되었으며, 대부분 연구에서 RG와 기존 수술법(LG, OG) 간 생존율의 유의한 차이가 없었다(Table 2) [12,14,21]. 그러나 Suda 등[22]이 보고한 후향 연구에서는 3년 전체생존율 RG군에서 96.3%, LG군에서 89.6% (hazard ratio [HR], 0.34; 95% CI, 0.15–0.76; $p = 0.009$)로 RG에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었으나, 3년 무병생존율은 두 군

간 차이가 없었다. 2024년 발표된 대규모 다기관 연구 중, Lu 등[13]의 결과는 RG와 LG의 3년 무병생존율이 각각 83.7%와 83.1% ($p = 0.745$), 3년 전체생존율이 85.2%와 84.4% ($p = 0.647$)로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 또 다른 중국 그룹인 Li 등[23]의 결과에서도 3년 무병생존율은 RG 80.8%, LG 79.5% ($p = 0.240$), 3년 전체생존율은 각각 83.9%와 81.8% ($p = 0.068$)로 유사한 결과를 보였다. 미국의 NCDB 연구에서는 성향점수매칭 전 분석에서 RG군이 더 높은 5년 전체생존율(RG 56% vs. LG 54%, $p = 0.03$)을 보였다[20]. 유일하게 장기 생존율 결과를 보고한 중국 RCT 연구에서는 RG군의 3년 무병생존율이 85.8%로 LG군의 73.2%보다 유의하게 높았으며($p = 0.011$), 다변량 분석에서도 로봇수술은 3년 무병생존율의 독립적인 예후 인자로 확인되었다(HR, 0.541; 95% CI, 0.314–0.932) [24].

수술 후 재발은 2020년 Guerrini 등[25]의 메타분석에서 RG의 재발률이 더 낮은 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았으며(9.9% vs. 13.5%, $p = 0.25$), 2024년 메타분석에서도 3년 재발률이 두 군 간 유의한 차이를 보이지 않았다(8.1% vs. 9.4%, $p = 0.21$) [14]. Lu 등[13]의 다기관 연구에서는 3년 내 누적 재발률이 RG군과 LG군 모두 15.0% ($p = 0.988$)로 동일했으며, 재발 양상에서도 유의한 차이가 없었으며, Li 등[23]의 다기관 연구에서도 두 수술 사이에 3년 누적 재발률(RG 19.3% vs. LG 20.8%; HR, 0.95; 95% CI, 0.88–1.03; $p = 0.219$)에 차이가 없었다. 그러나 중국 RCT에서는 3년 누적 재발률이 RG에서 12.1%로 LG의 21.1%보다 유의하게 낮았으며(HR, 0.546; 95% CI, 0.302–0.990), 특히 국소 재발률에서 현저한 차이를 보였다(2.1% vs. 7.7%; HR, 0.266; 95% CI, 0.075–0.950) [24].

CONCLUSION

RG는 기존의 복강경 수술과 비교하여 높은 비용과 긴 수술 시간이라는 뚜렷한 단점을 가지고 있다[26,27]. 현재까지의 연구 결과들은 RG가 복강경 수술에 비해 출혈량과 재원 기간에서 통계적으로 유의한 감소를 보여주고 있으나, 이는 이미 안정성이 입증된 복강경 수술과 비교하여 임상적으로 의미 있는 차이라고 보기는 어렵다. 또한 장기 생존율 측면에서도 동등한 수준을 보이고 있어, 비용을 고려한다면 RG의 임상적 이점은 제한적이라고

할 수 있다. 또한 로봇수술이 복강경 수술과 기본적인 접근 방식을 공유하고 있다는 점은 두 수술법 간의 임상 결과에서 유의미한 차이를 발견하기 어려운 근본적인 이유가 되고 있다. 따라서 로봇수술의 실질적인 가치를 정확히 평가하기 위해서는 기존의 임상 지표를 넘어서는 새로운 평가 도구의 개발이 필요하다. 예를 들어, 수술자의 신체적·정신적 피로도, 인체공학적 이점, 학습 곡선 등을 객관적으로 측정할 수 있는 도구들이 개발된다면, 로봇수술의 잠재적 이점을 더욱 명확하게 입증할 수 있을 것이다. 한편, 최근 의료로봇 시장에 새로운 수술 시스템들이 도입되고 있다. Medtronic의 Hugo™ robotic-assisted surgery (RAS) system, 일본 Medicaroid의 hinotori™ Surgical Robotic System, 한국 미래컴퍼니의 Revo-I surgical robot, 영국 CMR의 Versius surgical system, 그리고 중국의 수술로봇 시스템 등 다양한 로봇수술 플랫폼들이 임상 현장에 도입되고 있다. 이러한 시장 다변화는 향후 로봇수술 시스템의 가격 경쟁을 촉진하여 현재 로봇수술의 가장 큰 걸림돌인 비용 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 점에서 RG는 현재 과도기적 단계에 있다고 볼 수 있다. 기술의 발전과 시장 경쟁의 활성화, 그리고 새로운 평가 지표의 개발은 로봇수술의 실질적 가치를 재정립하는 데 중요한 역할을 할 것으로 전망된다.

FUNDING

None.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

1. Song J, Kang WH, Oh SJ, Hyung WJ, Choi SH, Noh SH. Role of robotic gastrectomy using da Vinci system compared with laparoscopic gastrectomy: initial experience of 20 consecutive cases. *Surg Endosc* 2009;23:1204-1211. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0351-4>
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. <https://doi.org/10.1001/archsurg.138.7.777>

3. Hashizume M, Sugimachi K. Robot-assisted gastric surgery. *Surg Clin North Am* 2003;83:1429-1444. [https://doi.org/10.1016/s0039-6109\(03\)00158-0](https://doi.org/10.1016/s0039-6109(03)00158-0)
4. Kim MC, Heo GU, Jung GJ. Robotic gastrectomy for gastric cancer: surgical techniques and clinical merits. *Surg Endosc* 2010;24:610-615. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0618-9>
5. Liu FL, Lv CT, Qin J, et al. [Da Vinci robot-assisted gastrectomy with lymph node dissection for gastric cancer: a case series of 9 patients]. *Zhonghua Wei Chang Wai Ke Za Zhi* 2010;13:327-329. Chinese. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2010.05.006>
6. Pugliese R, Maggioni D, Sansonna F, et al. Robot-assisted laparoscopic gastrectomy with D2 dissection for adenocarcinoma: initial experience with 17 patients. *J Robot Surg* 2008;2:217-222. <https://doi.org/10.1007/s11701-008-0116-4>
7. Song J, Oh SJ, Kang WH, Hyung WJ, Choi SH, Noh SH. Robot-assisted gastrectomy with lymph node dissection for gastric cancer: lessons learned from an initial 100 consecutive procedures. *Ann Surg* 2009;249:927-932. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000351688.64999.73>
8. Katai H, Mizusawa J, Katayama H, et al. Survival outcomes after laparoscopy-assisted distal gastrectomy versus open distal gastrectomy with nodal dissection for clinical stage IA or IB gastric cancer (JCOG0912): a multicentre, non-inferiority, phase 3 randomised controlled trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol* 2020;5:142-151. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(19\)30332-2](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(19)30332-2)
9. Kim HH, Han SU, Kim MC, et al. Long-term results of laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a large-scale case-control and case-matched Korean multicenter study. *J Clin Oncol* 2014;32:627-633. <https://doi.org/10.1200/jco.2013.48.8551>
10. Hyung WJ, Yang HK, Park YK, et al.; Korean Laparoscopic Gastrointestinal Surgery Study Group. Long-term outcomes of laparoscopic distal gastrectomy for locally advanced gastric cancer: the KLASS-02-RCT ran-

- domized clinical trial. *J Clin Oncol* 2020;38:3304-3313. <https://doi.org/10.1200/jco.20.01210>
11. Yu J, Huang C, Sun Y, et al.; Chinese Laparoscopic Gastrointestinal Surgery Study (CLASS) Group. Effect of laparoscopic vs open distal gastrectomy on 3-year disease-free survival in patients with locally advanced gastric cancer: the CLASS-01 randomized clinical trial. *JAMA* 2019;321:1983-1992. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.5359>
 12. Shibasaki S, Suda K, Hisamori S, Obama K, Terashima M, Uyama I. Robotic gastrectomy for gastric cancer: systematic review and future directions. *Gastric Cancer* 2023; 26:325-338. <https://doi.org/10.1007/s10120-023-01389-y>
 13. Lu J, Li TY, Zhang L, et al.; Chinese Multi-center Research Group of Robotic Gastric Surgery. Comparison of short-term and three-year oncological outcomes between robotic and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a large multicenter cohort study. *Ann Surg* 2024;279:808-817. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000006215>
 14. Du R, Wan Y, Shang Y, Lu G. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: the largest systematic reviews of 68,755 patients and meta-analysis. *Ann Surg Oncol* 2025;32:351-373. <https://doi.org/10.1245/s10434-024-16371-w>
 15. Lu J, Zheng CH, Xu BB, et al. Assessment of robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a randomized controlled trial. *Ann Surg* 2021;273:858-867. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000004466>
 16. Ojima T, Nakamura M, Hayata K, et al. Short-term outcomes of robotic gastrectomy vs laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: a randomized clinical trial. *JAMA Surg* 2021;156:954-963. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2021.3182>
 17. Ribeiro U Jr, Dias AR, Ramos MFKP, et al. Short-term surgical outcomes of robotic gastrectomy compared to open gastrectomy for patients with gastric cancer: a randomized trial. *J Gastrointest Surg* 2022;26:2477-2485. <https://doi.org/10.1007/s11605-022-05448-0>
 18. Wang Z, Xing J, Cai J, et al. Short-term surgical outcomes of laparoscopy-assisted versus open D2 distal gastrectomy for locally advanced gastric cancer in North China: a multicenter randomized controlled trial. *Surg Endosc* 2019;33:33-45. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6391-x>
 19. Pan HF, Wang G, Liu J, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for locally advanced gastric cancer. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2017;27:428-433. <https://doi.org/10.1097/sle.0000000000000469>
 20. Maegawa FB, Patel AD, Patel SG, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for adenocarcinoma in the US: a propensity score-matching analysis of 11,173 patients on oncological adequacy. *Surg Endosc* 2023;37:9643-9650. <https://doi.org/10.1007/s00464-023-10519-7>
 21. Triemstra L, den Boer RB, Rovers MM, et al. A systematic review on the effectiveness of robot-assisted minimally invasive gastrectomy. *Gastric Cancer* 2024;27:932-946. <https://doi.org/10.1007/s10120-024-01534-1>
 22. Suda K, Sakai M, Obama K, et al. Three-year outcomes of robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for the treatment of clinical stage I/II gastric cancer: a multi-institutional retrospective comparative study. *Surg Endosc* 2023;37:2858-2872. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09802-w>
 23. Li ZY, Wei B, Zhou YB, et al. Long-term oncological outcomes of robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: multicentre cohort study. *Br J Surg* 2024;111:znad435. <https://doi.org/10.1093/bjs/znad435>
 24. Lu J, Xu BB, Zheng HL, et al. Robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for resectable gastric cancer: a randomized phase 2 trial. *Nat Commun* 2024;15:4668. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49013-6>
 25. Guerrini GP, Esposito G, Magistri P, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: the largest meta-analysis. *Int J Surg* 2020;82:210-228. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.07.053>
 26. Kim HI, Han SU, Yang HK, et al. Multicenter prospective comparative study of robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric adenocarcinoma. *Ann Surg* 2016;263:103-109. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000001249>
 27. Li ZY, Zhou YB, Li TY, et al.; Robotic, Laparoscopic Surgery Committee of Chinese Research Hospital Association. Robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a multicenter cohort study of 5402 patients in China. *Ann Surg* 2023;277:e87-e95. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000005046>