

## Statusartikel

Ugeskr Læger 2022;184:V11210888

# Anvendelse og evidens for robotkirurgi inden for abdominalkirurgi

Niclas Dohrn<sup>1, 2</sup>, Pieter de Heer<sup>3</sup>, Stefan Kobbelaar Burgdorf<sup>3</sup>, Kristian Kiim Jensen<sup>4</sup>, Mads Falk Klein<sup>1</sup> & Ismail Gögenur<sup>2</sup>

1) Kirurgisk sektion, Afdeling for Mave-, Tarm- og Leversygdomme, Københavns Universitetshospital – Herlev Hospital, 2) Center for Surgical Science, Kirurgisk Afdeling, Sjællands Universitetshospital Køge, 3) Afdeling for Organkirurgi og Transplantation, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet, 4) Abdominalcenter K, Københavns Universitetshospital – Bispebjerg Hospital

Ugeskr Læger 2022;184:V11210888

### HOVEDBUDSKABER

- Minimalt invasiv kirurgi er veletableret i abdominalkirurgien i Danmark.
- Robotkirurgi er implementeret under en formodning om, at teknologien kan afhjælpe begrænsninger ved konventionel laparoskopisk kirurgi.
- Det teoretiske rationale for robotkirurgi er klart, men der mangler god evidens for, hvorvidt robotkirurgien medfører fordele for patienterne.

De tidligste robotkirurgiske systemer blev udviklet i samarbejde med det amerikanske militær og NASA under en vision om at muliggøre fjernkirurgi hos soldater eller astronauter på hhv. slagmarken eller i rummet. Den egentlige anvendelse af robotteknologien viste sig imidlertid at skulle findes et helt andet sted, nemlig inden for minimalt invasiv kirurgi, hvor man opdagede et potentiale for robotkirurgen til at overkomme nogle af begrænsningerne ved den konventionelle laparoskopi [1].

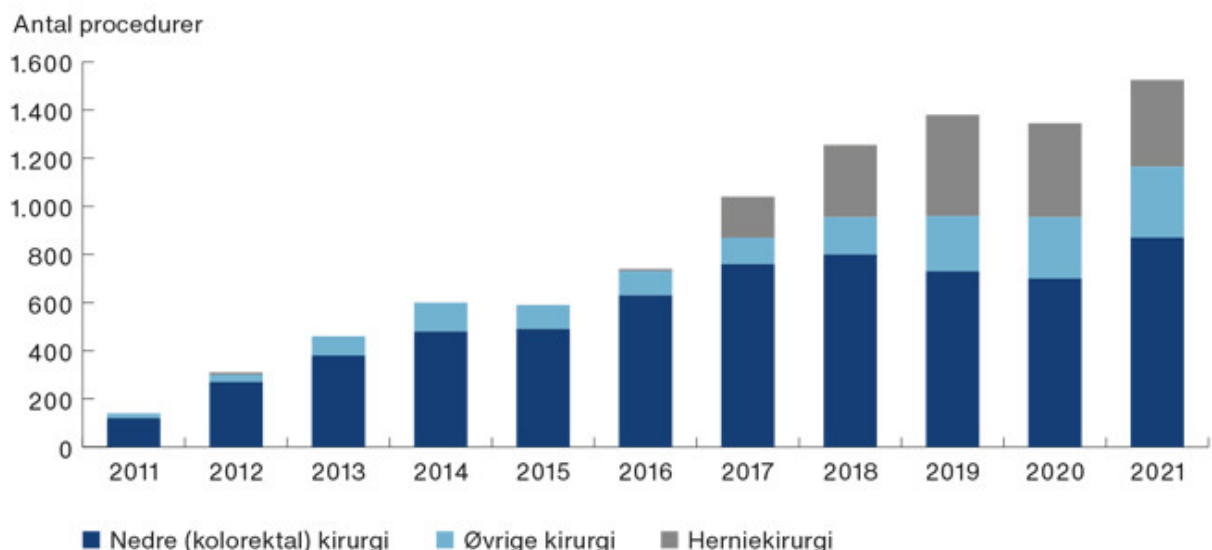
Det langt mest udbredte robotkirurgiske system er da Vinci Surgical System, og begrebet robotkirurgi bruges for nuværende synonymt med da Vinci-systemet. Da Vinci-systemet består af en patientdel, som udgør de mekaniske arme, hvorpå de robotkirurgiske instrumenter monteres, og en kirurgkonsol, hvorfra kirurgen styrer alle bevægelser (Figur 1). Det baserer sig grundlæggende på de samme kirurgiske principper og teknikker som konventionel laparoskopisk kirurgi, men bevægefriheden er øget markant grundet en mekanisk artikulering i spidsen af instrumenterne. Robottens tekniske fordele formodes at facilitere teknisk udfordrende dele af operationen, såsom intrakorporal suturering og dissektion under snævre pladsforhold, samtidig med at der er klare ergonomiske fordele for kirurgen sammenlignet med laparoskopi og åben kirurgi [2].

**FIGUR 1** Illustration af da Vinci-systemet (patient-cart og kirurgkonsol) og beskrivelse af fordele og ulemper.



Dog er der fortsat debat om nytteværdien af robotten inden for abdominalkirurgi i forhold til konventionel laparoskopi, og det er uklart, om de øgede omkostninger, der er forbundet med robotkirurgi, står mål med eventuelle gevinster [3, 4]. Desuagtet er der på nuværende tidspunkt i Danmark 26 da Vinci-robotkirurgiske systemer fordelt på 15 hospitaler, og antallet af robotkirurgiske procedurer er steget markant over de seneste ti år (**Figur 2**). Formålet med denne artikel er – med udgangspunkt i de enkelte abdominalkirurgiske fagområder – at give et overblik over anvendelsen af robotkirurgi og den tilgængelige evidens.

**FIGUR 2** Udviklingen i antallet af robotkirurgiske procedurer i abdominalkirurgien over de seneste ti år i Danmark.



## NEDRE (KOLOREKTAL) KIRURGI

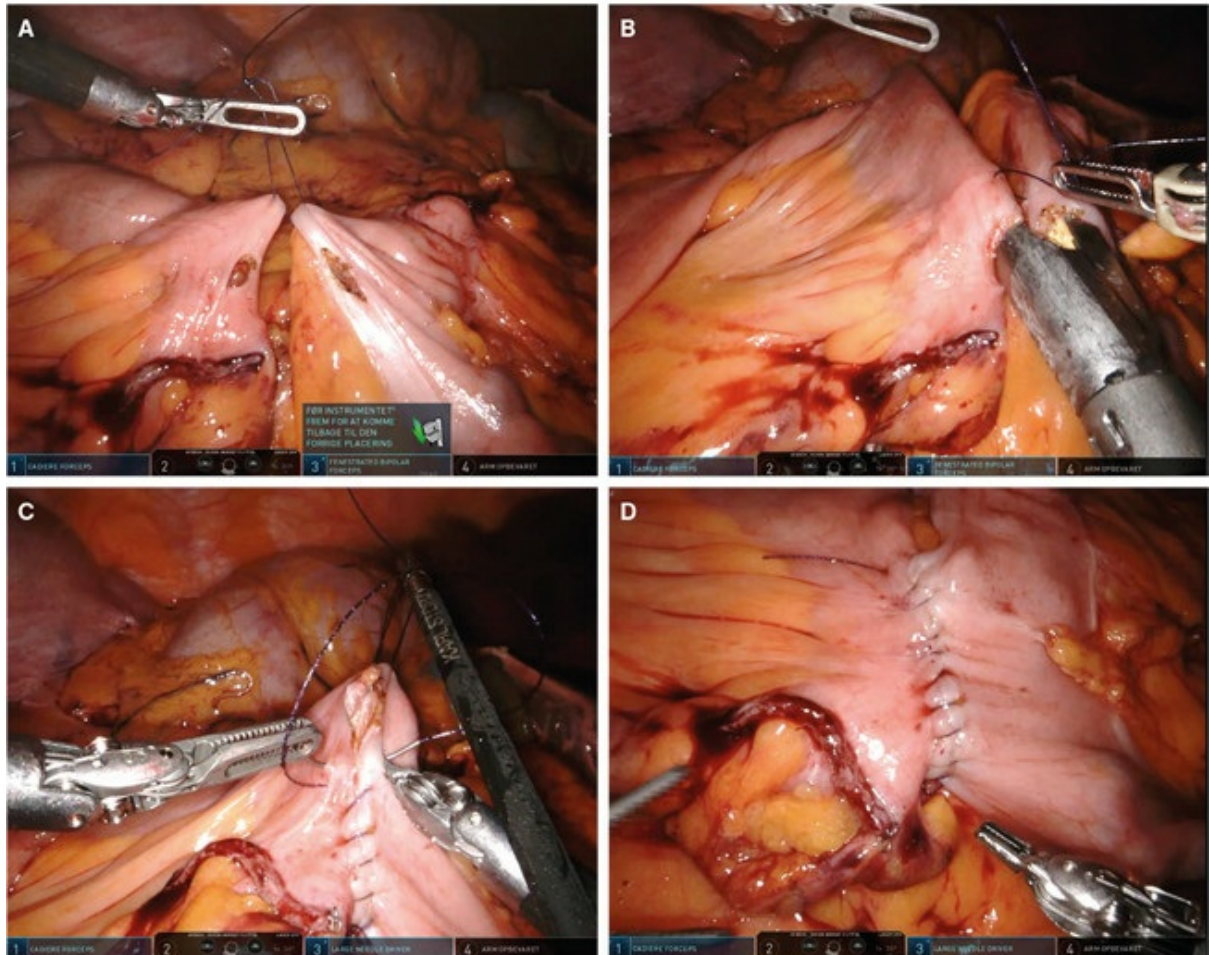
I Danmark udføres over 90% af operationerne for kolorektalcancer med minimalt invasiv teknik [5], og der

foreligger solid evidens for, at minimalt invasiv teknik resulterer i hurtigere postoperativ rekonvalescens, færre postoperative komplikationer og sammenlignelige onkologiske resultater med resultaterne ved åben operation [6]. I Danmark, hvor transformationen til minimalt invasiv teknik inden for kolorektal kirurgi allerede har fundet sted, bør resultaterne fra robotkirurgi sammenlignes med laparoskopi. I international sammenhæng er situationen dog en anden, da der i højere grad stadigvæk foretages åbne resektioner, og de tekniske fordele ved robotten muligvis kan fremme overgangen til minimalt invasiv kirurgi.

Colon- og rektumcancer udgør to selvstændige enheder, hvor potentielle fordele og rationaler for anvendelsen af robotkirurgi er forskellige. Rectumcancer opereres under snævre pladsforhold i bækkenet, og den forøgede bevægelighed af de robotkirurgiske instrumenter menes at facilitere præcis dissektion og reducere risikoen for konvertering til åben kirurgi. Der er gennemført to RCT'er på området [4, 7], hvoraf det ene, ROLARR-studiet [4] (n = 471), betragtes som et milepælstudie på området. I ROLARR fandt man ingen signifikant forskel i studiets primære endepunkt – konvertering til åben kirurgi (8% ved robotkirurgi og 12% ved laparoskopi, p = 0,16) eller i nogle af studiets øvrige endepunkter vedrørende onkologisk præparatkvalitet, komplikationer eller urogenitalfunktion. I sensitivitsanalyser fra ROLARR er der dog påvist en betydende læringskurve for robotkirurgi [4, 8], og i litteraturen findes talrige præliminære studier (retrospektive eller ikke-randomiserede prospektive studier), som understøtter de teoretiske fordele (lavere konverteringsrate og forbedret urogenital funktion) ved robotkirurgisk rectumkirurgi [9].

Ved coloncancer formodes robotkirurgi også at facilitere præcis onkologisk dissektion med central kardeling og lymfeknudeexcision samt at facilitere den tekniske udførelse af intrakorporal anastomose [10]. Ved intrakorporal anastomose forstås, at anastomosen laves med minimalt invasiv teknik (inklusive intrakorporal suturering), uden at tarmene bringes uden for maven (ekstrakorporalt) (**Figur 3**). Der foreligger et enkelt mindre RCT [3] om højresidig hemikolektomi, hvor man fraset øgede omkostninger og forlængelse af operationstiden ved robotkirurgi ikke har fundet nogen forskelle. I den benigne nedre kirurgi anvendes den robotkirurgiske tilgang særligt ved operation for rektalprolaps (rektopeksi med meshfiksering af rectum), som kræver intrakorporal suturering i de snævre pladsforhold i bækkenet. Evidensen er begrænset og har foreløbigt ikke påvist en forskel mellem robotkirurgi og laparoskopi [11].

**FIGUR 3** Intrakorporal ileokolisk anastomose. **A.** Enterotomi i terminale ileum og colon transversum. **B.** Mekanisk stapler indført med et »ben« i hver enterotomi. Stapleren affyres, hvorved der skabes et fælles lumen. **C.** Enterotomien sutureres intrakorporalt. **D.** Endelig anastomose.



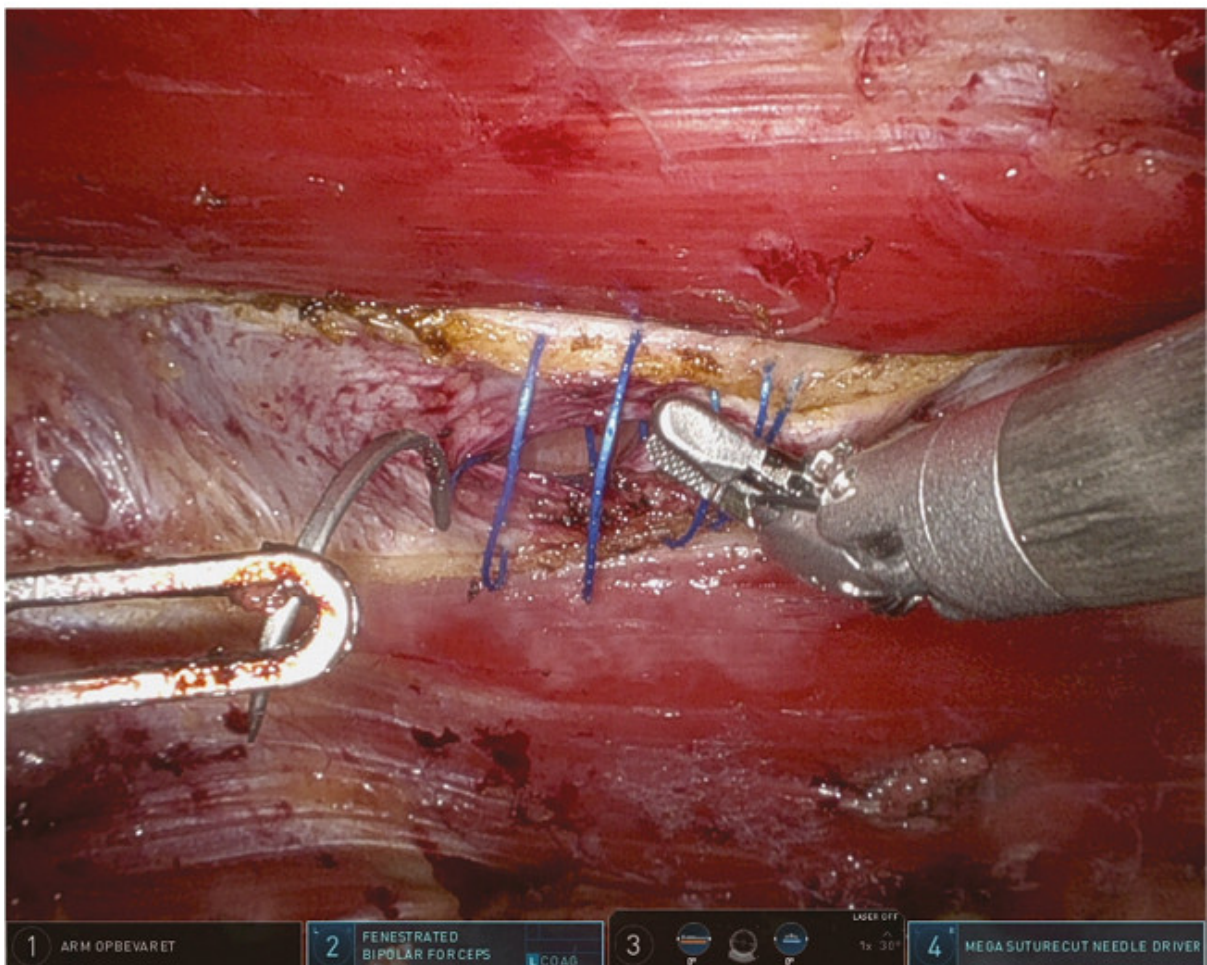
## HERNIEKIRURGI

Robotkirurgisk herniekirurgi foretages på nuværende tidspunkt i Danmark på syv centre. Fælles for alle typer af herniekirurgi er, at evidensen bag introduktionen af den robotkirurgiske procedure er sparsom [12]. Langt størstedelen af indgrebene, der foretages i Danmark, er operationer for lyskebrok, hvilket i grove træk er den samme operation, som foretages ved konventionel laparoskopisk. I litteraturen foreligger et enkelt RCT, hvor man sammenlignede laparoskopisk og robotkirurgisk ingvinalherniotomi [13]. Her fandt man ingen forskel i postoperative smerter eller livskvalitet, men den robotkirurgiske operation tog længere tid (76 vs. 41 minutter), var dyrere og mere frustrerende for operatøren. Resultaterne af retrospektive kohortestudier tyder på færre komplikationer efter robotkirurgisk end efter både åben og laparoskopisk ingvinalherniotomi [12].

Den store fordel ved robotkirurgisk vs. laparoskopisk operation på hernieområdet antages at være hos patienter, der opereres for ventralhernie (Figur 4). De robotkirurgiske instrumenter gør suturering og dissektion i bugvæggen væsentligt lettere og giver mulighed for avancerede rekonstruktioner, der ellers kun foretages ved åben adgang. I to RCT fra USA har man sammenlignet laparoskopisk og robotkirurgisk operation for

ventralhernie og fandt ingen forskel i hverken komplikationsrater eller den patientrelaterede livskvalitet [14, 15]. Et fælles kritikpunkt for disse studier er, at der anvendes simpel intraperitoneal onlay mesh-teknik, hvilket ikke udnytter robotens tekniske fordele [16]. Mindre, retrospektive opgørelser viser lovende resultater efter operation for stort incisionalhernie, hvor patienter, der har fået foretaget robotkirurgisk bilateral component-separation, udskrives efter én sammenlignet med fire dage efter tilsvarende åben operation samtidig med færre postoperative smerter og nedsat risiko for sårkomplikationer [17].

**FIGUR 4** Robotkirurgisk suturering af fasciedefekt under operation for ventralhernie.



Således lader det til, at robotkirurgisk herniekirurgi indeholder et potentiale, hvad angår komplekse ventralhernier. Der mangler dog fortsat evidens i form af veludførte RCT'er.

## ØVRE KIRURGI

### Øsofagus-kardia-ventrikel-kirurgi

En minimalt invasiv cardiaresektion eller gastrektomi med radikal lymfadenektomi, generelt kombineret med neoadjuverende behandling, er den anbefalede behandling af lokaliseret øsofagus-, kardia- eller ventrikel-

(ECV)-cancer.

Forskellige operationsmodaliteter er blevet undersøgt, hver med specifikke tekniske fordele og vanskeligheder. I kontrollerede studier fra højvolumencentre har minimalt invasiv teknik en lavere postoperativ morbiditet, end åben kirurgi har, især ved en reduktion af antallet af lungekomplikationer [18]. Den daglige realitet er dog mere kompleks pga. de tekniske vanskeligheder ved minimalt invasiv kirurgi, hvor en højere risiko for reoperation og anastomoselækage er dokumenteret i flere registerstudier [19], og der er ikke påvist overlevelsesgevinst ved minimalt invasiv teknik i forhold til åben kirurgi [20].

Robotkirurgien har vundet indpas inden for ECV-området, og flere RCT'er er undervejs. Foreløbig har robotkirurgi vist en kortere operationstid og en øget lymfeknudehøst end konventionel laparoskopi [21].

### Lever-pancreas-galdevejs-kirurgi

Den minimalt invasive teknik har gennem de senere år også vundet indpas i lever-pancreas-galdevejs (HPB)-kirurgien. Robotkirurgisk HPB-kirurgi udføres foreløbig kun på ét af landets fire HPB-centre, mens man på de øvrige tre centre udfører åbne og laparoskopiske indgreb.

Robotinstrumenternes øgede bevægelighed kan være en stor fordel, når det organ, der skal opereres på, er fikseret, hvilket i nogen grad er gældende for leveren og især pancreas. Generelt er der studier, der viser, at minimalt invasive pancreatic surgery (MIPS) sammenlignet med åben kirurgi kan reducere morbiditeten uden at radikaliteten kompromitteres [22]. Grundet øget mortalitet efter laparoskopisk pankreatikoduodenektomi (Whipples operation) i et RCT anbefales det, at denne avancerede operation, såfremt den udføres minimalt invasivt, kun udføres robotkirurgisk eller i højvolumencentre, da man har vist, at antal indgreb pr. center er afgørende for morbiditet og mortalitet [23, 24]. Robottens tekniske fordele sammenlignet med laparoskopi i form af den øgede bevægelighed af instrumenterne formodes at gøre de essentielle anastomoser (galdevejs- og pancreasanastomose) betydeligt enklere.

For kirurgisk behandling af processer i cauda og corpus pancreatis er MIPS anbefalet, idet der foreligger niveau 1-evidens for hurtigere rekonvalescens [25]. Frasset lavere blodtab, mindre konverteringsrisiko og mindre risiko for splenektomi (ved benign lidelse, hvor milten ikke behøver reseceres) er robotkirurgi ikke den laparoskopiske kirurgi overlegen [26].

Der er flere studier, der retfærdiggør brugen af minimalt invasiv leverkirurgi, idet der er vist mindre blødning, lavere morbiditet, hurtigere rekonvalescens og sammenlignelige onkologiske resultater sammenlignet med åben leverkirurgi [27]. Der er også flere studier, hvor man finder, at robotkirurgisk leverkirurgi giver en lavere mortalitet og hurtigere rekonvalescens end åben leverkirurgi, og desuden er der studier, der viser, at robottens tekniske fordele med øget bevægelighed kan facilitere de mere »besværlige« leverindgreb, såsom posteriore, superiore og store hilære resektioner [28].

Den minimalt invasive kirurgi har fundet sin plads i HPB-kirurgien, og indførelsen af robotten har muliggjort mere avancerede procedurer.

### PERSPEKTIVER FOR ROBOTKIRURGIEN I ABDOMINALKIRURGI

Der er store perspektiver ved at introducere den avancerede computer- og robotteknologi til operationsbordet. Et eksempel er brug af kunstig intelligens, som muliggør, at kirurgen via augmented reality og 3D-modellering informeres løbende om vigtige anatomiske forhold og vævets tilstand baseret på skanningsbilleder, fluorescensmålinger eller andre biometriske målinger.

Evidensbaseret implementering af nye behandlingsprincipper er en generel udfordring i kirurgi, hvor klinisk

praksis ofte går forud for sufficient evidens – formentlig betinget af problematikker med randomisering, blinding, standardisering af den kirurgiske intervention og læringskurver [8, 29]. En evidensbaseret tilgang med protokollerede studier med fokus på læringskurver og definerede effektmål i implementeringsfasen bør tilstræbes [29]. Samtidig er det også den kliniske virkelighed, at implementeringen af en ny kirurgisk teknik må foretages ved de simple indgreb, forud for at teknikken kan implementeres ved de mere komplicerede indgreb, hvor gevinsterne muligvis skal findes.

Overordnet mangler der fortsat god evidens på anvendelsen af robotkirurgi over for konventionel laparoskopi – til trods for en stor mængde litteratur på området. Men litteraturen er langt overvejende retrospektiv, påvirket af bias [30] og sparsomt beskrevet i forhold til patientrelaterede fordele [30]. Der mangler uafhængige multicenter-RCT'er for at opkvalificere den tilgængelige viden, og vi bør på tværs af landets kirurgiske afdelinger bestrebe os på at gennemføre dette fremadrettet.

**Korrespondance** *Niclas Dohrn*. E-mail: [niclas.dohrn@regionh.dk](mailto:niclas.dohrn@regionh.dk)

**Antaget** 3. februar 2022

**Publiceret på ugeskriftet.dk** 5. september 2022

**Interessekonflikter** Der er anført potentielle interessekonflikter. Forfatterens ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

**Referencer** findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

**Artikelreference** Ugeskr Læger 2022;184:V11210888

## SUMMARY

### The application, rationale, and current evidence for a robotic approach in abdominal surgery

Niclas Dohrn, Pieter de Heer, Stefan Kobbelaar Burgdorf, Kristian Kiim Jensen, Mads Falk Klein & Ismail Gögenur

Ugeskr Læger 2022;184:V11210888

High-level evidence now strongly supports the use of a minimally invasive approach in most abdominal surgical procedures. Minimally invasive surgery is performed with either a laparoscopic or a robotic approach, and the robotic approach has been implemented to overcome some of the inherent limitations of the conventional laparoscopic approach. In Denmark, robotic surgery is widely adopted, and this review describes the application and rationale of a robotic approach in different subspecialties, while also presenting the available high-level evidence.

## REFERENCER

1. Satava RM. Robotic surgery: from past to future—a personal journey. *Surg Clin North Am.* 2003;83(6):1491-500.
2. Wee IJY, Kuo LJ, Ngu JCY. A systematic review of the true benefit of robotic surgery: ergonomics. *Int J Med Robot.* 2020;16(4):e2113.
3. Park JS, Choi G-S, Park SY et al. Randomized clinical trial of robot-assisted versus standard laparoscopic right colectomy. *Br J Surg.* 2012;99(9):1219–26.
4. Jayne D, Pigazzi A, Marshall H et al. Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for rectal cancer. *JAMA.* 2017;318(16):1569-80.
5. Danish Colorectal Cancer Group. Landsdækkende database for kræft i tyk- og endetarm, 2019. <https://dccg.dk/wp-content/uploads/2020/12/DCCG-Årsrapport-2019.pdf> (5. mar 2022).

6. Guillou PJ, Quirke P, Thorpe H et al. Short-term endpoints of conventional versus laparoscopic-assisted surgery in patients with colorectal cancer (MRC CLASICC trial): multicentre, randomised controlled trial. *Lancet*. 2005;365(9472):1718-26.
7. Kim MJ, Park SC, Park JW et al. Robot-assisted versus laparoscopic surgery for rectal cancer. *Ann Surg*. 2018;267(2):243-51.
8. Corrigan N, Marshall H, Croft J et al. Exploring and adjusting for potential learning effects in ROLARR: a randomised controlled trial comparing robotic-assisted vs. standard laparoscopic surgery for rectal cancer resection. *Trials*. 2018;19(1):339.
9. Bhama AR, Obias V, Welch KB et al. A comparison of laparoscopic and robotic colorectal surgery outcomes using the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program (ACS NSQIP) database. *Surg Endosc*. 2016;30(4):1576-84.
10. Dohrn N, Klein MF, Gögenur I. Robotic versus laparoscopic right colectomy for colon cancer: a nationwide cohort study. *Int J Colorectal Dis*. 2021;36(10):2147-58.
11. Flynn J, Larach JT, Kong JCH et al. Robotic versus laparoscopic ventral mesh rectopexy: a systematic review and meta-analysis. *Int J Colorectal Dis*. 2021;36(8):1621-31.
12. Henriksen NA, Jensen KK, Muysoms F. Robot-assisted abdominal wall surgery: a systematic review of the literature and meta-analysis. *Hernia*. 2019;23(1):17-27.
13. Prabhu AS, Carbonell A, Hope W et al. Robotic inguinal vs transabdominal laparoscopic inguinal hernia repair the RIVAL randomized clinical trial. *JAMA Surg*. 2020;155(5):380-7.
14. Dhanani NH, Olavarria OA, Holihan JL et al. Robotic versus laparoscopic ventral hernia repair. *Ann Surg*. 2021;273(6):1076-80.
15. Petro CC, Zolin S, Krpata D et al. Patient-reported outcomes of robotic vs laparoscopic ventral hernia repair with intraperitoneal mesh. *JAMA Surg*. 2020;156(1):22-9.
16. Jensen KK. Laparoscopic versus robot assisted repair of ventral hernia. *BMJ* 2020;370:m2480.
17. Collins CE, Renshaw S, Huang L-C et al. Robotic vs open approach for older adults undergoing retromuscular ventral hernia repair. *Ann Surg*. 2021. doi:10.1097/SLA.0000000000005260. (Online ahead of print).
18. Müller-Stich BP, Probst P, Nienhüser H et al. Meta-analysis of randomized controlled trials and individual patient data comparing minimally invasive with open oesophagectomy for cancer. *Br J Surg*. 2021;108(9):1026-33.
19. Markar SR, Ni M, Gisbertz SS et al. Implementation of minimally invasive esophagectomy from a randomized controlled trial setting to national practice. *J Clin Oncol*. 2020;38(19):2130-9.
20. Nuytens F, Dabakuyo-Yonli TS, Meunier B et al. Five-year survival outcomes of hybrid minimally invasive esophagectomy in esophageal cancer. *JAMA Surg*. 2021;156(4):323-32.
21. Yang Y, Li B, Yi J et al. Robot-assisted versus conventional minimally invasive esophagectomy for resectable esophageal squamous cell carcinoma. *Ann Surg*. 2021. doi:10.1097/SLA.0000000000005023. Online ahead of print (15. mar 2022).
22. Liu R, Wakabayashi G, Palanivelu C et al. International consensus statement on robotic pancreatic surgery. *HepatoBiliary Surg Nutr* 2019;8:345-60. doi:10.21037/hbsn.2019.07.08
23. Van Hilst J, de Rooij T, Bosscha K et al. Laparoscopic versus open pancreatoduodenectomy for pancreatic or periampullary tumours (LEOPARD-2): a multicentre, patient-blinded, randomised controlled phase 2/3 trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2019;4(3):199-207.
24. Nickel F, Haney CM, Kowalewski KF et al. Laparoscopic versus open pancreaticoduodenectomy. *Ann Surg*. 2020;271(1):54-66.
25. De Rooij T, van Hilst J, van Santvoort H et al. Minimally invasive versus open distal pancreatectomy (leopard). *Ann Surg*. 2019;269(1):2-9.
26. Lof S, van der Heijde N, Abuawwad M et al. Robotic versus laparoscopic distal pancreatectomy: multicentre analysis. *Br J Surg*. 2021;108(2):188-95.
27. Robles-Campos R, Lopez-Lopez V, Brusadin R et al. Open versus minimally invasive liver surgery for colorectal liver metastases (LapOpHuva): a prospective randomized controlled trial. *Surg Endosc*. 2019;33(12):3926-36.
28. Chiow AKH, Fuks D, Choi G-H et al. International multicentre propensity score-matched analysis comparing robotic versus laparoscopic right posterior sectionectomy. *Br J Surg*. 2021;108(12):1513-20.
29. McCulloch P, Feinberg J, Philippou Y et al. Progress in clinical research in surgery and IDEAL. *Lancet*. 2018;392(10141):88-94.



30. Criss CN, MacEachern MP, Matusko N et al. The impact of corporate payments on robotic surgery research. *Ann Surg.* 2019;269(3):397-98.