

Capítulo 17

CIRURGIA ROBÓTICA NO TRATAMENTO DO CÂNCER COLORRETAL: INOVAÇÃO, IMPACTO E DESAFIOS FUTUROS

LAURA ROPPA MABONI¹
FRANCISCO MARTINS LAMAS¹
FERNANDO SILVESTRE AZAMBUJA¹
PEDRO BORTOLUZZI ESCOBAR DA SILVA¹
PEDRO HENRIQUE FILIPIN VON MUHLEN¹
PEDRO ARTHUR ZIMMER SILVEIRA¹
LUÍSA GODOY¹
NATÁLIA VIVIAN LOSS¹
IAGO TOMASI¹
CLARA RUCKERT JUNGKENN¹
FRANCISCO RATTO FABRIS¹
JULIA ROCHA NUNES¹
MARIA EDUARDA ISALINO E SILVA¹

¹Discente – Medicina na Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Palavras-Chave: Neoplasias Colorretais; Cirurgia Robótica; Laparoscopia.

INTRODUÇÃO

O câncer colorretal representa uma das neoplasias mais comuns e letais no mundo, sendo uma preocupação crescente em populações que enfrentam o envelhecimento e mudanças no estilo de vida. A cirurgia, particularmente a ressecção curativa, é fundamental no tratamento desta doença, fornecendo não apenas controle local do tumor, mas também a base para o estadiamento e o planejamento de terapias adjuvantes (XUE *et al.*, 2023). No entanto, a busca contínua por abordagens que reduzam as complicações perioperatórias, melhorem os resultados funcionais e oncológicos e ampliem as indicações cirúrgicas impulsionou a adoção de tecnologias avançadas, como a cirurgia robótica.

A introdução de plataformas robóticas, como o sistema da Vinci®, revolucionou o campo da cirurgia minimamente invasiva. Essa tecnologia proporciona visão tridimensional ampliada, instrumentos articulados que aumentam a destreza cirúrgica e um ambiente ergonômico para o cirurgião, aspectos que superam limitações técnicas significativas da laparoscopia convencional, especialmente em áreas anatomicamente complexas, como a pelve profunda (BAEK, 2022). Apesar desses avanços, a cirurgia robótica enfrenta desafios substanciais relacionados a custos, tempo operatório prolongado e a necessidade de maior evidência para justificar sua superioridade clínica em relação às abordagens laparoscópicas tradicionais.

Embora a cirurgia laparoscópica tenha substituído amplamente a cirurgia aberta como a abordagem padrão para o câncer colorretal, limitações técnicas persistem. A falta de articulação nos instrumentos, a visão bidimensional e a necessidade de assistência constante para a manipulação da câmera aumentam a complexidade em procedimentos como a excisão total do mesorreto em câncer de reto baixo. Além disso, a

curva de aprendizado para laparoscopia avançada pode ser íngreme, restringindo sua aplicação ampla e consistente entre os cirurgiões (BAEK *et al.*, 2022).

Essas limitações são mais evidentes em pacientes com características desafiadoras, como obesidade ou tumores localizados em regiões difíceis de acessar. Estudos têm demonstrado que a taxa de conversão para cirurgia aberta permanece alta nesses casos, impactando negativamente os resultados a curto e longo prazo. Nesse contexto, a cirurgia robótica surgiu como uma alternativa promissora, oferecendo melhor visualização e controle em espaços confinados, com taxas reduzidas de conversão para laparotomia (XUE *et al.*, 2023).

Este capítulo tem como objetivo explorar o papel crescente da cirurgia robótica no tratamento do câncer colorretal, avaliando suas inovações tecnológicas, impacto clínico e os desafios para sua adoção em larga escala. Serão discutidas as vantagens técnicas específicas dessa abordagem em comparação com as cirurgias laparoscópica e aberta, destacando evidências clínicas que sustentam sua utilização em cenários complexos. Além disso, este texto abordará os desafios econômicos e educacionais que limitam a disseminação da tecnologia, ao mesmo tempo que aponta para futuros desenvolvimentos, como integração de inteligência artificial e plataformas robóticas avançadas.

MÉTODO

O presente capítulo constitui uma revisão narrativa da literatura realizada durante o mês de novembro de 2024. O estudo foi realizado na base de dados PubMed/MEDLINE, com ênfase em publicações sobre cirurgia robótica no manejo do câncer colorretal. A estratégia de busca utilizada foi: “(“colorectal neoplasm” OR “colonic neoplasm” OR “sigmoide neoplasms” OR “colorectal cancer”)[MeSH] OR “Colorectal

Malignancy” OR “Colorectal Carcinoma”) AND (colectomy OR “colon resection” OR sigmoidectomy OR “Laparoscopic” OR “Laparoscopically-Assisted Colorectal Surgery”) AND (“robotic surgery” OR “robotic surgical procedures” OR “Robot-Assisted Surgery” OR “Da Vinci Surgery” OR “robotic”). Os critérios de inclusão incluíram artigos publicados nos últimos cinco anos, alinhados com o tema proposto; artigos que não se enquadraram no foco principal do estudo foram desconsiderados na análise.

Além disso, foram realizadas buscas específicas sem a utilização de filtros determinados, com o objetivo de coletar informações complementares, além da análise de artigos mencionados nas referências encontradas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Histórico e evolução da cirurgia robótica em oncologia colorretal

A introdução da cirurgia robótica na prática cirúrgica moderna representa uma das mais importantes inovações tecnológicas da medicina (BAEK *et al.*, 2022). No campo da oncologia colorretal, a aplicação da robótica começou com o desenvolvimento das primeiras plataformas, que visavam melhorar a precisão e a eficácia das técnicas cirúrgicas tradicionais (BAEK *et al.*, 2022). O primeiro marco importante na aplicação de sistemas robóticos em cirurgia colorretal foi a adaptação do sistema Da Vinci®, que se consolidou como um dos mais utilizados no mundo devido às suas especificidades (BAEK *et al.*, 2022). Estudos iniciais revelaram que a utilização de plataformas robóticas em procedimentos de câncer colorretal poderia melhorar os resultados cirúrgicos, como menor sangramento e recuperação mais rápida, em comparação com a laparotomia convencional (BAEK *et al.*, 2022).

Nos primeiros anos de cirurgia robótica, a técnica foi aplicada principalmente em procedimentos de ressecção do cólon e reto (COCHETTI *et al.*, 2020). A técnica rapidamente se popularizou devido aos benefícios como menor tempo de internação e redução de complicações (BAE *et al.*, 2021). Com o tempo, a robótica foi se tornando cada vez mais acessível, com a introdução de sistemas de menor custo e inovações como o sistema robótico de um único portal, que permitiu a recuperação ainda mais rápida (GUO *et al.*, 2023). Esses avanços levaram a um aumento contínuo na utilização da cirurgia robótica, especialmente em casos de câncer colorretal em pacientes com condições anatômicas desafiadoras, como obesidade ou tumores baixos no reto (CHO *et al.*, 2024). Os benefícios clínicos da cirurgia robótica, como maior precisão, redução de complicações e menor trauma para os pacientes, são bem documentados (COCHETTI *et al.*, 2020). Além disso, os resultados oncológicos com a robótica têm sido comparáveis aos da laparoscopia, mas com vantagens adicionais em termos de tempo operatório e recuperação (CUK *et al.*, 2021).

A evolução das técnicas robóticas também permitiu a realização de procedimentos simultâneos, como a ressecção retal associada a uma nefrectomia parcial, ampliando as possibilidades terapêuticas para pacientes com múltiplos problemas clínicos (COCHETTI *et al.*, 2020). Porém, apesar dos avanços, o alto custo das plataformas robóticas e a falta de evidências robustas para algumas restrições ainda apresenta desafios importantes para uma ampla adoção dessa técnica (CUK *et al.*, 2021). A expansão futura da cirurgia robótica no tratamento do câncer colorretal dependerá de vários fatores, incluindo a melhoria da acessibilidade das tecnologias, o treinamento de novos profissionais e o acúmulo de dados de longo prazo sobre os resultados clínicos e oncológicos (BAEK *et al.*,

2022). As expectativas para os próximos anos são positivas, com a incorporação de novas tecnologias, como inteligência artificial e sistemas de realidade aumentada, que podem tornar os procedimentos ainda mais precisos e seguros (BAEK *et al.*, 2022).

Excisão total do mesorreto

A excisão mesorretal total (TME) é uma técnica cirúrgica padrão para o tratamento do câncer retal, especialmente em tumores localizados no terço médio e inferior do reto. A TME envolve a remoção em bloco do mesorreto, que inclui estruturas vasculares e linfáticas associadas, tecido adiposo e a fáscia mesorretos, através de uma dissecação precisa, com o objetivo de preservar os nervos autonômicos (HU *et al.*, 2022; KIM *et al.*, 2015). Esta técnica é projetada para remover radicalmente as regiões de drenagem linfática dos tumores localizados acima do nível dos músculos levantadores do ânus, com o objetivo de minimizar a recorrência local e garantir margens de ressecção negativas (HU *et al.*, 2022).

A TME por videolaparoscopia tem sido o principal procedimento no tratamento do câncer retal, contudo apresenta limitações na sua realização, como uma significativa taxa de conversão, a permanência de margens de ressecção positivas, a visualização em duas dimensões e a redução na destreza manual. A TME robótica, introduzida em 2007 com o sistema da Vinci, supera parte desses desafios ao oferecer visão tridimensional de alta qualidade, braços robóticos que replicam movimentos naturais, maior estabilidade dos instrumentos e uma maior ergonomia que permite a redução de tremores (BAE, 2022).

A TME robótica compreende etapas críticas, iniciando pela dissecação posterior, onde o mesorreto é cuidadosamente separado da fáscia pré-sacral em direção ao assoalho pélvico, com

o objetivo de proteger os nervos hipogástricos superiores e o plexo hipogástrico. Essa dissecação profunda permite mobilizar o mesorreto até o nível do assoalho pélvico. Na sequência, realiza-se a dissecação anterior, separando o mesorreto da próstata ou da vagina, conforme o sexo do paciente, enquanto se preservam o plexo pélvico e os feixes neurovasculares. A dissecação posterolateral é conduzida com precisão para proteger estruturas nervosas essenciais, como os nervos hipogástricos e o plexo pélvico, fundamentais para a função urinária e sexual. Por fim, a dissecação circunferencial é completada até o assoalho pélvico, garantindo a remoção integral do mesorreto como um bloco oncológico (KIM *et al.*, 2015).

A comparação entre a TME robótica e TME laparoscópica para o tratamento do câncer retal destaca diferenças importantes, especialmente no tempo operatório e nas taxas de conversão. Embora a TME robótica geralmente tenha um tempo cirúrgico mais longo, apresenta taxas de conversão significativamente mais baixas, sendo particularmente vantajosa em casos de anatomia pélvica complexa ou tumores avançados localmente, onde a precisão e a estabilidade da plataforma robótica reduzem a necessidade de conversão para cirurgia aberta (BAEK *et al.* 2022).

As principais indicações para a TME robótica incluem o tratamento de cânceres retais localmente avançados, onde a cirurgia local não é suficiente, e quando a preservação do esfíncter é possível e desejada. A técnica é apropriada para pacientes que necessitam de dissecação dos linfonodos pélvicos laterais (LPND) devido à possibilidade de metástases, uma vez que a combinação da TME com a LPND pode reduzir a taxa de recorrência local. A escolha da TME robótica deve considerar a experiência do cirurgião e a disponibilidade de recursos, uma vez que a técnica pode ser mais dispendiosa e re-

quer um tempo operatório mais longo em comparação com a abordagem laparoscópica (HU C *et al.*, 2022).

Após a realização de uma excisão total do mesorreto (TME) para o tratamento do câncer colorretal com técnicas robóticas, o pós-operatório tende a apresentar benefícios significativos. Primeiramente, a recuperação mais rápida com técnicas minimamente invasivas pode facilitar o início precoce de tratamentos adjuvantes necessários, como a quimioterapia, melhorando o prognóstico geral (KIM, 2015).

Além disso, a tecnologia robótica permite uma intervenção extremamente precisa, possibilitando a preservação dos nervos pélvicos, responsáveis pela manutenção das funções urinárias e sexuais. Isso é especialmente relevante em casos com pélvis profundas ou estreitas, onde a abordagem laparoscópica pode ser limitada (KIM, 2015). Além disso, a redução nas taxas de conversão para cirurgia aberta, como já citado, contribui para um pós-operatório menos agressivo e com menor incidência de complicações graves (BAEK, 2021).

As taxas de complicações imediatas, como perda de sangue e íleo pós-operatório, são comparáveis às da laparoscopia em geral, mas em pacientes obesos ou com tumores baixos, o uso da tecnologia robótica mostrou vantagens na recuperação pós-operatória (BAEK, 2021). A possibilidade de manipulação mais precisa do mesorreto e da região pélvica inferior, facilitada pelo robô, reduz o risco de danos estruturais e permite margens de ressecção adequadas, essenciais para o controle oncológico local e prevenção de recidivas (KIM, 2015).

Não foram achadas outras diferenças significativas em desfechos de curto prazo, como complicações intraoperatórias e pós-operatórias e tempo de internação hospitalar (BAEK *et al.*, 2022; BAE, 2022). A literatura mostrava equivalência entre os desfechos oncológicos de lon-

go prazo na TME robótica e laparoscópica (BAE, 2022; HU C *et al.*, 2022), porém foi descrito que a TME robótica é um fator prognóstico significativo para a sobrevivência global e específica do câncer em análise multivariada (BAE, 2022). No entanto, uma das principais desvantagens permanece sendo o alto custo associado com o procedimento realizado por via robótica, cerca de 1,3-2,5 vezes maior por procedimento que a cirurgia laparoscópica (BAEK, 2022).

Dissecção robótica de linfonodos pélvicos laterais

A dissecção robótica de linfonodos pélvicos laterais (LPND) é um procedimento cirúrgico minimamente invasivo que utiliza um sistema robótico para remover os linfonodos pélvicos laterais (LPLN). Essa técnica, por meio da precisão da plataforma robótica, visa melhorar os resultados oncológicos.

Os LPLN, localizados na pelve lateral, representam um local potencial de disseminação do câncer colorretal e portanto a dissecção de linfonodos pélvicos laterais (LPLN) utilizando a plataforma robótica surge como uma técnica promissora no tratamento da patologia. (BAE, 2022)

No entanto, há divergências na indicação da LPND para câncer colorretal. No Japão, a LPND é recomendada rotineiramente para casos de câncer retal T3 ou superior, com a borda inferior do tumor localizada abaixo da reflexão peritoneal, dado o risco de metástase de até 25 % relatado (BAEK, 2022).

Já no Ocidente, a radioterapia é a abordagem preferencial para metástases em LPLN e portanto a LPND é reservada para casos específicos, como recorrência após radioterapia pré-operatória, tornando-se um procedimento menos frequente na prática cirúrgica ocidental (BAEK, 2022).

Desse modo, a LPND convencional torna-se tecnicamente desafiadora para cirurgiões o-

cidentais menos familiarizados com a anatomia da região pélvica lateral e o risco de lesão às estruturas adjacentes representa uma grande preocupação. Assim, a cirurgia robótica surge como uma ferramenta promissora para superar esses desafios, oferecendo um campo visual estável e magnificado, contra-tração eficaz e instrumentos articulados com maior destreza e amplitude de movimento, os quais aumentam a efetividade na dissecação dos linfonodos (BAEK, 2022)

Ainda, a técnica pode ser aprimorada por meio da tecnologia de fluorescência com infravermelho próximo (NIF) integrada à plataforma robótica, potencializando a precisão da LPND. A injeção de indocianina verde (ICG) ao redor do tumor, seguida da detecção da fluorescência pelo sistema robótico permite a visualização em tempo real dos linfonodos e a identificação precisa daqueles que apresentam metástases (BAE, 2022)

Dessa maneira, o pós-operatório de pacientes que foram submetidos à dissecação de linfonodos laterais através de técnica robótica, tende a ser menos prejudicial, pois a precisão dos movimentos robóticos minimiza os danos aos tecidos circundantes, promovendo uma cicatrização mais eficiente. Além disso, uma abordagem minimamente invasiva também resulta em menores incisões, reduzindo a dor pós-operatória, o risco de infecção e o tempo de recuperação (BAEK, 2022).

O prognóstico para pacientes que passaram por esse procedimento, no contexto do câncer de cólon, é variável, pois depende de uma série de fatores. A literatura aponta que a presença de invasão vascular e perineural é um indicativo de maior agressividade tumoral e está associada a um prognóstico mais crítico. Ademais, seu subtipo histológico, a lateralidade (os tumores do lado direito tendem a ser mais agressivos) e seu estágio são características importantes para de-

finir um prognóstico. Outro fator interessante de se levar em conta seria a quantidade de linfonodos retirados durante o procedimento. De acordo com a literatura, pacientes submetidos à dissecação de mais de 22 linfonodos apresentam maiores taxas de sobrevida, pois a coleta de um maior número de linfonodos melhora o estadiamento do câncer, ou seja, aumenta a precisão na identificação de metástases linfáticas (BAEK, 2022).

Especificidades da cirurgia robótica aplicada ao câncer de cólon

O sistema robótico mostrou-se muito favorável a cirurgias em um espaço estreito devido às suas características técnicas. (BAEK, 2022) Dessa forma, no que tange a cirurgia colorretal, a robótica tem sido mais amplamente aplicada à cirurgia retal, pois, em consonância com a literatura geral, um ensaio clínico randomizado de KOEPark *et al.* mostrou que a hemicolectomia direita laparoscópica assistida por robótica não forneceu nenhum benefício significativo sobre a hemicolectomia direita laparoscópica convencional para justificar seu custo. (BAEK, 2022; TOH *et al.*, 2024) A excisão mesocólica completa (CME) e ligadura vascular central (CVL), ou também chamada de hemicolectomia direita, consiste na remoção de parte do cólon direito ao longo de planos embriológicos, associada com laqueação vascular central, obtendo um espécime operatório com um envelope mesocólico íntegro, sendo indicada para tratar tumores no ceco, cólon ascendente ou ângulo hepático (BAE, 2022; FRANCESCHILLI, 2021). Após a mobilização da parte ressecada, procede-se com a anastomose íleo-cólica, que pode ser realizada de várias maneiras, término-terminal, término-lateral e látero-lateral (FRANCESCHILLI, 2021).

A CME laparoscópica padrão demonstra viabilidade e segurança com resultados oncológicos satisfatórios. No entanto, CME com CVL

laparoscópica é um procedimento desafiador, devido à dificuldade técnica da anastomose intracorpórea. (BAE, 2022) A via robótica oferece benefícios ao permitir a realização da anastomose intracorpórea de forma mais fácil, utilizando um grampeador articulador robótico que elimina a necessidade de dissecções colônicas excessivas e facilita a sutura. (BAEK, 2022) Além disso, a colectomia realizada roboticamente para câncer de cólon do lado direito permite uma dissecção linfática precisa ao longo do tronco do mesentério superior, promovendo maior visibilidade e tração uniforme das alças intestinais, o que melhora os resultados da ressecção mesocólica. (BAE, 2022) Apesar disso, ainda não há evidências suficientes de que CME e CVL robóticos sejam superiores à cirurgia laparoscópica em resultados clínicos e oncológicos. A revisão da literatura mostrou que a colectomia robótica tem transoperatórios mais longos e custos mais altos, mas também apresenta menor taxa de conversão, menor tempo de internação hospitalar e menor perda de sangue (BAE, 2022; TOH *et al.*, 2024).

Após a realização de uma hemicolectomia direita, especialmente quando realizada por técnicas minimamente invasivas como a laparoscopia ou a cirurgia robótica, o pós-operatório tende a ser mais favorável. A recuperação da motilidade intestinal, foco importante após a cirurgia, tende a ser mais rápida, especialmente em procedimentos minimamente invasivos, com menor incidência de íleo pós-operatório e redução da dor (BAEK, 2022). A menor extensão das incisões e a abordagem menos invasiva contribuem para uma recuperação mais eficiente, com menos risco de complicações como trombose venosa profunda e infecções respiratórias. O controle de infecções também é mais eficaz devido à abordagem minimamente invasiva, reduzindo a incidência de infecção de sítio cirúrgico (TOH *et al.*, 2024). A anastomose

íleo-cólica, crucial para a restauração da continuidade intestinal, pode ser realizada com maior precisão nas técnicas robóticas, diminuindo o risco de complicações como fístulas ou deiscências (BAE, 2022).

Quanto ao prognóstico, a cirurgia colorretal, em especial com a realização de excisão mesocólica completa (CME) e ligadura vascular central (CVL), assegura margens adequadas de ressecção e linfadenectomia ampla, fatores essenciais para o controle local da doença e prevenção de recidivas (FRANCESCHILLI, 2021). Apesar de não existirem diferenças significativas nos resultados oncológicos de longo prazo entre as abordagens laparoscópica e robótica, o uso do sistema robótico oferece vantagens adicionais, como maior precisão na dissecção linfática e uma visualização aprimorada, que podem beneficiar pacientes com casos mais complexos. A recuperação mais rápida com técnicas minimamente invasivas também permite que o paciente inicie o tratamento adjuvante, como quimioterapia, de forma mais precoce, impactando positivamente as chances de sucesso no tratamento. Além disso, a menor agressão cirúrgica e a redução nas complicações pós-operatórias resultam em um prognóstico mais favorável, com menor risco de complicações sistêmicas, como infecções generalizadas (BAEK, 2022).

A introdução do sistema da Vinci® Xi pode alterar essas percepções e modificar o contexto da cirurgia robótica colônica. Diferentemente do sistema S ou Si, o da Vinci® Xi tem um braço robótico mais estreito e longo, o que aumenta a gama de movimentos da esquerda para a direita. Isso se mostra mais adequado para cirurgias em regiões com espaços maiores, ao contrário dos modelos anteriores, especializados em locais estreitos. Essa mudança tecnológica facilita a aplicação do sistema robótico na cirurgia do câncer de cólon, permitindo abranger

uma gama mais ampla da cirurgia retal sem necessidade de desacoplamento e reacoplamento (BAEK, 2022).

Vantagens da cirurgia robótica sobre laparoscopia e abordagens tradicionais

A cirurgia laparoscópica surgiu como uma necessidade para a redução do trauma tecidual durante os mais diversos procedimentos cirúrgicos, o que se traduz na redução do volume de sangue perdido durante cirurgia, complicações pós-operatórias, tempo de estadia em hospital e resultado estético (BAE, 2022; CUK, 2021). No entanto, devido a natureza do equipamento e acesso da cirurgia laparoscópica, a mobilidade com as pinças e a percepção tridimensional do espaço são reduzidas.

Nesse sentido, a cirurgia robótica, principalmente a partir da popularização das plataformas Da Vinci, surgiu como uma solução para os impasses postos pela constituição das pinças laparoscópicas. Trazendo uma percepção tridimensional bastante melhorada, sistemas antitremor e maior mobilidade distal, as plataformas robóticas se destacam pela precisão e manobrabilidade intraoperatória (com 7 graus de liberdade, 180° de articulação, 540° de rotação) (BAE, 2022). Essas características são especialmente importantes quando nos referimos a cirurgias colorretais, já que a cirurgia retal é notoriamente complexa devido à necessidade de preservar estruturas importantes na pelve, como órgãos ginecológicos e urológicos, o plexo nervoso sacral e os vasos sacrais e ilíacos. Tudo isso em um espaço extremamente limitado e fechado (BAEK, 2021).

Assim, o uso de tecnologia robótica tem mostrado benefícios significativos em comparação com dispositivos laparoscópicos tradicionais, especialmente pela maior liberdade de movimento. Procedimentos em condições benignas, como a retocolopexia para prolapso de órgãos pélvicos e a proctocolectomia com anasto-

mose ileoanal em casos de doença inflamatória intestinal, têm alcançado bons resultados com a abordagem robótica. Apesar disso, a maior parte dos estudos relacionados à cirurgia robótica em reto é voltada para o tratamento do câncer retal (BAEK, 2021).

Um ensaio clínico randomizado publicado na Lancet concluiu que “Para o câncer de reto médio e baixo, a cirurgia robótica demonstrou vantagens significativas em comparação com a laparoscopia convencional, oferecendo uma qualidade oncológica é superior na ressecção, menor trauma cirúrgico e recuperação pós-operatória mais rápida” (FENG, 2022).

Com a evolução das técnicas laparoscópicas, os esforços para o desenvolvimento de métodos menos invasivos ainda continuou, levando, recentemente, à implementação do sistema uniportal de videolaparoscopia, baseado em um acesso único para a introdução das pinças no campo operatório. Esse sistema demonstrou redução do trauma ao paciente em comparação à laparoscopia tradicional de três e quatro acessos. Por outro lado, essa nova técnica demonstrou ter diversas desvantagens também, dentre elas a dificuldade de mobilidade e triangulação das pinças. Com isso, o sistema da Vinci SP surgiu como uma nova plataforma robótica, agora para cirurgias de acesso único (“Single-port”). Entre as vantagens dessa técnica cirúrgica estão a redução de colisões entre os instrumentos robóticos e a câmera, a facilidade em criar triangulação, benefícios estéticos, dissecação precisa com o uso do EndoWrist® e maior conforto ergonômico, mesmo para cirurgiões com menos experiência em laparoscopia por portal único (BAE, 2022). Porém, Bae (2022) escreve:

“Vale destacar que, no sistema SP, além das tesouras curvas monopolares, não estão disponíveis grampeadores, irrigadores de sucção ou dispositivos de energia cirúrgica, e também não

é possível utilizar a técnica de fluorescência no infravermelho próximo (NIF). Além disso, a disposição dos componentes do sistema é peculiar, com o terceiro braço localizado na parte superior e a câmera posicionada na parte inferior, o que difere da visão cirúrgica habitual e pode gerar desconforto.”

Por fim, vale destacar que, além das já apresentadas vantagens ao paciente, as plataformas robóticas, de acordo com estudos recentes baseados em relatos de experiência, proporcionam maior conforto para os cirurgiões durante as operações. Hislop (2024) apresenta, a partir dos dados de seu estudo de levantamento, que o cirurgiões de plataformas robóticas e laparoscópicas experienciaram mais conforto no que diz respeito à visão do console robótico em comparação ao monitor laparoscópico, menos dores no pescoço, ombros, lombar. Dessa forma, avalia-se que a superioridade técnica das plataformas robóticas perpassa tanto os desfechos intra e pós-operatório do paciente, quanto o conforto do cirurgião que conduz a operação.

Limitações e desafios da cirurgia robótica

A cirurgia robótica, embora apresente benefícios significativos em termos de precisão e manobrabilidade, também enfrenta diversas limitações e desafios que restringem sua adoção ampla nos sistemas de saúde.

O alto custo da cirurgia robótica continua sendo uma das maiores barreiras para sua disseminação. Em comparação à laparoscopia, os procedimentos robóticos são, em média, de 1,3 a 2,5 vezes mais caros, dependendo da instituição e do país. Essa diferença impacta tanto os pacientes quanto os sistemas de saúde, pois as receitas hospitalares provenientes de procedimentos robóticos tendem a ser menores e os custos sociais totais, mais altos. No entanto, há evidências de que a redução das taxas de conversão para cirurgias abertas, combinada a me-

nor morbidade e períodos mais curtos de internação, pode compensar parte desses custos, especialmente em sistemas hospitalares de países com despesas elevadas de hospitalização, como os Estados Unidos. Além disso, espera-se que o aumento da concorrência no mercado de plataformas robóticas, atualmente dominado por uma única empresa, possa contribuir para a redução dos custos no futuro (BAEK *et al.*, 2022).

Estudos também têm comparado os resultados de curto prazo da cirurgia robótica e laparoscópica em colectomias. Uma análise populacional mostrou que ambas as técnicas tiveram resultados semelhantes em termos de morbidade e tempo de internação. Contudo, a cirurgia robótica foi associada a menores taxas de conversão para procedimentos abertos, embora com custos mais altos e maior duração operatória (KIM *et al.*, 2020; BAY *et al.*, 2022). De forma semelhante, o estudo ROLARR indicou que a cirurgia robótica gerou despesas significativamente maiores em relação à laparoscopia, incluindo custos operacionais, anestésicos e de manejo pós-operatório. Ainda assim, espera-se que, com o aumento das indicações e da competição entre plataformas robóticas, os custos possam ser reduzidos, beneficiando mais pacientes e sistemas de saúde (BAY *et al.*, 2022).

A duração prolongada das cirurgias robóticas é outra limitação apontada por estudos clínicos. Por exemplo, Park *et al.* (2019) relataram que, embora os resultados clínicos e de longo prazo fossem semelhantes entre as colectomias robóticas e laparoscópicas, o maior tempo operatório associado ao uso do robô foi considerado um fator desfavorável em relação ao custo-benefício (BAY *et al.*, 2022).

A curva de aprendizado para a cirurgia robótica representa um desafio significativo. O domínio da interface usuário-máquina e a operação eficiente de múltiplos braços robóticos requerem habilidades técnicas que diferem das

técnicas laparoscópicas convencionais (GOMEZ RUIZ *et al.*, 2019). Além disso, é essencial um treinamento estruturado para que os cirurgiões atinjam proficiência sem comprometer a segurança do paciente, especialmente durante as fases iniciais do aprendizado (KNAB *et al.*, 2017).

Embora as plataformas robóticas sejam promissoras, suas limitações atuais, como custo elevado, longa curva de aprendizado e tempo operatório prolongado, reforçam a necessidade de aprimoramento contínuo da tecnologia e das abordagens educacionais para garantir maior acessibilidade e eficiência.

Inovações tecnológicas e perspectivas futuras

As perspectivas futuras para a cirurgia robótica indicam evolução de softwares aprimorados, crescimento da telerrobótica e revolução da ergonomia do bloco cirúrgico (CUK *et al.*, 2021), com a finalidade de eliminar as deficiências técnicas que ainda se fazem presentes. A redução da carga de trabalho e da curva de aprendizado são vantagens que instigam os pesquisadores a explorarem novos sistemas robóticos para o aprimoramento das técnicas minimamente invasivas (BAEK *et al.*, 2022). Além disso, a cura do paciente, que começou como o principal pilar para a escolha das técnicas robóticas, passou a compartilhar espaço com a importância dos resultados operacionais e estéticos. Pensando no futuro, além da sobrevida, resultados funcionais, cosmeses e qualidade de vida tendem a ser cada vez mais primordiais na escolha do método cirúrgico (BAE *et al.*, 2021).

Quando se trata de local de destaque no meio da cirurgia robótica, o sistema robótico da Vinci vem atuando como líder há anos (BAE, 2022). Porém, novos sistemas aprovados pela Food And Drug Administration (FDA) estão começando a disputar lugar com as plataformas já estabelecidas. Em 2017, houve a aprovação

do Senhance Surgical Robotic System, com estudos sobre seu uso para doenças colorretais sendo publicados, e do Flex Robotic System, um robô em miniatura para a microcirurgia endoscópica transanal (BAE, 2022). A competição no mercado é importante para que os sistemas robóticos assumam valores mais acessíveis para a população, visto que o alto custo é um empecilho para a socialização dessa prática. Em comparação com as técnicas laparoscópicas convencionais, a cirurgia robótica despende de gastos muito maiores, incluindo encargos hospitalares totais, pagamento de pacientes, taxas de operação, taxas de anestesia e despesas de gerenciamento pós-operatório (BAE, 2022), o que diminui a possibilidade de expandir seus benefícios para mais pacientes.

Por fim, para que o desenvolvimento da cirurgia robótica possa se consolidar futuramente, é preciso que mais estudos sejam realizados a fim de evidenciar suas vantagens. Hye Jung Cho (2024) aborda os resultados da técnica de uma única incisão, como a redução do tempo de internação do paciente, mas afirma que há uma lacuna significativa dos resultados a longo prazo. Outra técnica de única incisão, executada pela plataforma SR-ENS-600, é explorada por Zichao Guo *et al.* (2023), que cita a necessidade de estudos prospectivos de larga escala e de ensaios clínicos randomizados para focar no aprimoramento da segurança e da eficácia da plataforma para superar os desafios técnicos posteriormente. Diante desse cenário, espera-se que a cirurgia robótica seja explorada por mais centros de saúde para investigar suas limitações e aperfeiçoar suas técnicas, a fim de que essa prática seja estendida a mais pacientes que busquem seus benefícios

CONCLUSÃO

A cirurgia robótica no tratamento do câncer colorretal destaca-se como uma abordagem

promissora, uma vez que oferece vantagens em precisão, visão ampliada e destreza. Tais características contribuem para maior segurança e melhores resultados cirúrgicos, especialmente em áreas de difícil acesso.

Entre os avanços significativos, estão a dissecação robótica de linfonodos pélvicos laterais (LPND) e a colectomia robótica para câncer de cólon. A LPND robótica apresenta maior precisão em regiões anatomicamente desafiadoras, sendo útil em casos selecionados de câncer retal. Por sua vez, a colectomia robótica facilita procedimentos complexos, como anastomoses intracorpóreas e disseções linfáticas precisas. Apesar dos custos mais elevados e do tempo cirúrgico prolongado, o sistema da Vinci® Xi amplia as aplicações robóticas, trazendo benefícios técnicos na cirurgia colorretal, embora os resultados oncológicos de longo prazo sejam semelhantes aos da abordagem laparoscópica.

No entanto, a disseminação da cirurgia robótica enfrenta desafios importantes. O alto custo dos procedimentos, de 1,3 a 2,5 vezes superior ao da laparoscopia convencional, é uma barreira significativa. Embora os custos adicio-

nais possam ser parcialmente compensados por menores taxas de conversão para cirurgia aberta e pela redução da morbidade e do tempo de internação, ainda representam um obstáculo relevante. Além disso, a complexidade da interface entre o cirurgião e o sistema, somada à necessidade de habilidades técnicas especializadas, exige treinamento estruturado e contínuo para o manuseio eficaz dos múltiplos braços robóticos.

Apesar desses desafios, o futuro da cirurgia robótica no câncer colorretal é promissor, com a integração de tecnologias emergentes como inteligência artificial e realidade aumentada. Essas inovações podem ampliar a precisão, a eficácia e as indicações da técnica para um número maior de pacientes. Assim, com o aperfeiçoamento contínuo das tecnologias e novos estudos, a cirurgia robótica tem potencial para se consolidar como uma ferramenta essencial no tratamento oncológico, oferecendo benefícios tanto no desfecho cirúrgico quanto na qualidade de vida dos pacientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAE, S.; *et al.* Single plus one-port robotic surgery using the da Vinci Single-Site Platform versus conventional multi-port laparoscopic surgery for left-sided colon cancer. *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, 2021. 2022;17(1):179-187. doi:10.5114/wiitm.2021.112678
- BAE, S. U. Current Status and Future of Robotic Surgery for Colorectal Cancer-An English Version. *Journal of the Anus, Rectum and Colon*, v. 6, n. 4, p. 221–230, 27 out. 2022. Published 2022 Oct 27. doi:10.23922/jarc.2022-047
- BAEK, S.-J.; *et al.* Optimizing outcomes of colorectal cancer surgery with robotic platforms. *Surgical Oncology*, v. 43, p. 101786, ago. 2022. doi: 10.1016/j.suronc.2022.101786]. *Surg Oncol*. 2021;37:101559. doi:10.1016/j.suronc.2021.101559
- CHO, H. J.; KIM, W. R. Early Single-Center Experience of DaVinci® Single-Port (SP) Robotic Surgery in Colorectal Patients. *Journal of clinical medicine*, v. 13, n. 10, p. 2989, 2024. doi:10.3390/jcm13102989
- COCHETTI, G. *et al.* Simultaneous totally robotic rectal resection and partial nephrectomy: case report and review of literature. *World journal of surgical oncology*, v. 18, n. 1, p. 86, abr. 2020. doi:10.1186/s12957-020-01864-1
- CUK, P. *et al.* Improved perioperative outcomes and reduced inflammatory stress response in malignant robot-assisted colorectal resections: a retrospective cohort study of 298 patients. *World Journal of Surgical Oncology*, v. 19, n. 1, 22 maio 2021. doi.org/10.1186/s12957-021-02263-w
- FRANCESCHILLI, M. *et al.* Complete mesocolic excision and central vascular ligation in colorectal cancer in the era of minimally invasive surgery. *World Journal of Clinical Cases*, v. 9, n. 25, p. 7297, 2021. doi:10.12998/wjcc.v9.i25.7297
- GUO, Z. *et al.* Single-incision robotic assisted surgery: a nonrandomized cohort pilot study on a novel surgical platform in colorectal surgery. *International journal of surgery (London, England)*, v. 109, n. 11, p. 3417–3429, jan. 2023. doi:10.1097/JS9.0000000000000612
- HU C, *et al.* Robot-assisted Total Mesorectal Excision and Lateral Pelvic Lymph Node Dissection for Locally Advanced Middle-low Rectal Cancer. *J Vis Exp*. 2022;(180):10.3791/62919.
- KIM NK, *et al.* Total mesorectal excision for rectal cancer with emphasis on pelvic autonomic nerve preservation: Expert technical tips for robotic surgery. *Surg Oncol*. 2015;24(3):172-180. doi:10.1016/j.suronc.2015.06.012
- KIM, S. *et al.* Comparing the initiation of adjuvant chemotherapy after robotic and laparoscopic colon cancer surgeries: A case-controlled study with propensity score matching. *Korean journal of clinical oncology*, v. 16, n. 1, p. 9–17, jun. 2020. doi:10.14216/kjco.20003
- TOH, J. W.; *et al.* Robotic colorectal surgery. *Appendix, Colon, and Rectum*, p. 117, 2024. doi.org/10.1093/med/9780192863584.003.0014
- XUE, Y. *et al.* Evaluation of the advantages of robotic versus laparoscopic surgery in elderly patients with colorectal cancer. *BMC Geriatrics*, v. 23, n. 1, 20 fev. 2023. doi:10.1186/s12877-023-03822-4
- FENG Q, *et al.* Robotic versus laparoscopic surgery for middle and low rectal cancer (REAL): short-term outcomes of a multicentre randomised controlled trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2022;7(11):991-1004. doi:10.1016/S2468-1253(22)00248-5
- HISLOP, *et al.* Perceived comfort and tool usability during robot-assisted and traditional laparoscopic surgery: a survey study. *J Robotic Surg* 18, 15 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01785-7>
- GÓMEZ RUIZ, M.; *et al.* Expert consensus on a train-the-trainer curriculum for robotic colorectal surgery. *Colorectal Disease*, v. 21, n. 8, p. 903–908, 18 maio 2019. doi:10.1111/codi.14637
- KNAB, L. M. *et al.* Towards standardized robotic surgery in gastrointestinal oncology. *Langenbeck's Archives of Surgery*, v. 402, n. 7, p. 1003–1014, 27 set. 2017. doi:10.1007/s00423-017-1623