Trauma, Cirurgia e Medicina Intensiva

Edição III

Capítulo 03

INOVAÇÕES EM TÉCNICAS CIRÚRGICAS DE EMERGÊNCIA: CIRURGIA ROBÓTICA E MINIMAMENTE INVASIVA NO TRAUMA

BEATRIZ CASSEL CORRÊA[1]
GIULIANA VIECILLI CASTILHOS[1]
EDUARDA HENN[1]
MARÍLIA BELING GULARTE[1]
EDUARDA SALTON GRANDO[1]
JULIA YUNG DE OLIVEIRA[1]
BRUNA EDUARDA HOCHSCHEIDT[1]
KADRISE GUIZONI LEITE MORAES[1]
LARISSA DE SOUZA PIARDI[1]
GABRIELA DOS SANTOS DIEHL[1]
AMANY ABDEL RAHMAN ABU HWAS[1]
VITÓRIA CARNIEL FERREIRA[1]
LARISSA RODRIGUES[1]
THAÍS SODER KAERCHER[1]
INGRID WENDLAND SANTANNA[2]

[1]Discente - Medicina da Universidade de Santa Cruz do Sul
[2]Docente – Medicina da Universidade de Santa Cruz do Sul

Palavras-Chave: *Procedimentos Cirúrgicos Robóticos; Procedimentos Cirúrgicos Minimamente Invasivos; Emergências.*

DOI 10.59290/978-65-6029-184-3.3

EDITORA PASTEUR

INTRODUÇÃO

A cirurgia tradicional de emergência, enfrenta muitos desafios, por vezes, é invasiva, menos precisa e propensa a maior risco de causar infecções no local cirúrgico (OTHMAN *et al*., 2022). Com a introdução de aplicações robóticas, houve redução de dor pós-operatória e internação hospitalar, bem como, notou-se um aceleramento do tempo de recuperação (DE' ANGELIS *et al*., 2022). Diante desse cenário, essas novas tecnologias tiveram um aumento significativo em oito vezes, de 2012 a 2018, nos Estados Unidos, evidenciando serem resolutivas (GAGE *et al*., 2024).

A cirurgia robótica minimamente invasiva (MIRS), surgiu em uma tentativa de aprimorar as técnicas convencionais. Dessa forma, as superam, oferecendo maior precisão, confiabilidade, visão tridimensional, amplitude de movimentos e exatidão. Ainda, fornecem erradicação de tremores, facilitando a posição ergonômica para o cirurgião, com consequente redução de taxas de conversão e complicações pós-operatórias. As diretrizes recentes recomendam sua abordagem em cirurgia abdominal de urgência (colecistite, apendicectomias agudas, perfuração ou obstrução intestinal etc.) (CECCARELLI *et al*., 2024). Embora, comumente muito utilizada em detecção de câncer, em que, cirurgiões sentem indiretamente os tecidos na tentativa de apontar a aparição de células tumorais mais duras e rígidas (OTHMAN *et al*., 2022).

Essas novas ferramentas, estão em um processo de adaptação, para aprimorar seu sistema. Passam por quatro estágios: ideia, desenvolvimento/exploração, avaliação e vigilância. A finalidade é, garantir que as plataformas robóticas emergentes sejam totalmente analisadas com dados de longo prazo, a fim de, informar a força de trabalho cirúrgica e garantir a segurança do paciente (BOAL *et al*., 2024). Contudo, são muito limitadas, por seu alto custo, as quais implicam na indisponibilidade e acessibilidade em diversas unidades de emergência e durante turnos noturnos, por tempos operatórios mais longos esperados e por requererem um alto nível de conhecimento técnico, quando comparada à cirurgia aberta ou mesmo laparoscópica. Todos esses fatores impossibilitam, que sejam inseridas em todas as práticas médicas (DE'ANGELIS *et al*., 2022). Ainda, uma revisão sistemática relatou que, em comparação com as técnicas tradicionais, a aplicação robótica, teve 43,5% mais emissões de gases de efeito estufa e 24% mais produção de resíduos, sendo considerado mais um desafio a ser enfrentado para a implantação da mesma (BOAL *et al*., 2024).

O objetivo deste estudo é fornecer uma visão ampliada da aplicabilidade robótica nas cirurgias de emergência. A fim de demonstrar que, mesmo diante das adversidades, a adoção dessas inovações, podem ser grandes contribuintes dos serviços médicos e do campo cirúrgico. Visam oferecer benefícios da telemedicina e da telecirurgia, podendo ser úteis para promover uma abordagem segura e padronizada.

METODO

Trata-se de uma revisão integrativa realizada no período de agosto a setembro de 2024, por meio de uma abordagem exploratória e descritiva nas bases de dados: PubMed e *Web of Science*. Para a realização da pesquisa, foram utilizados os descritores e seus equivalentes em língua inglesa, presentes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): "procedimentos cirúrgicos robóticos", "procedimentos cirúrgicos minimamente invasivos", "emergências", manejados com o operador booleano *AND*. Desta busca, foram encontrados 28 estudos submetidos aos critérios de inclusão e exclusão.

Os critérios de inclusão foram: artigos gratuitos em língua portuguesa e inglesa, publicados no período de 2022 a 2024 e que abordavam as temáticas propostas para esta pesquisa, capítulos de livros, estudos do tipo revisão, meta-análise, estudo de coorte, casos-controle, ensaio clínico e artigos originais, disponibilizados na íntegra. Os critérios de exclusão foram: artigos duplicados, disponibilizados na forma de resumo, que não abordavam diretamente a proposta estudada e que não atendiam aos demais critérios de inclusão. Após os critérios de seleção restaram 7 artigos que foram submetidos à leitura minuciosa para a coleta de dados. Além dos artigos selecionados, também foram utilizados capítulos de livros relevantes para a temática, fornecendo uma base teórica complementar e ampliando a compreensão sobre a cirurgia robótica e minimamente invasiva no trauma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cirurgia minimamente invasiva (CMI), especialmente com assistência robótica, oferece diversas vantagens, como redução da dor pós-operatória, menor tempo de internação, menor perda de sangue e recuperação acelerada (BOAL *et al*., 2024). No entanto, a falta de *feedback* tátil na cirurgia robótica pode levar à aplicação inadvertida de forças excessivas, o que pode causar danos aos tecidos. Por isso, a incorporação da sensação tátil nas ferramentas cirúrgicas tornou-se um tema de pesquisa relevante, com enfoques em detecção de força elétrica e óptica (OTHMAN *et al*., 2022).

A rápida adoção da robótica em diversas especialidades cirúrgicas trouxe novas tecnologias e métodos, como a cirurgia endoscópica transluminal de orifício natural. Essas tecnologias estão sendo avaliadas rigorosamente para garantir a segurança e eficácia das inovações em longo prazo (BOAL *et al*., 2024). A robótica, sendo a abordagem mais avançada em CMI, é amplamente usada em cirurgias colorretais, bariátricas, urológicas e cardiotorácicas, destacando-se pela precisão em áreas anatômicas complexas (FAIRAG *et al*., 2024). No contexto da cirurgia de emergência, embora tradicionalmente reservada para casos eletivos, a robótica tem se mostrado viável e segura em pacientes hemodinamicamente estáveis (DE'ANGELIS *et al*., 2022). No entanto, preocupações persistem quanto à acessibilidade da tecnologia em emergências, especialmente fora do horário comercial (CECCARELLI *et al.,* 2024; GAGE *et al*., 2024).

A experiência da *Ohio State University* (OSU) em expandir seu programa de cirurgia robótica para incluir emergências demonstra que, com planejamento e colaboração multidisciplinar, é possível realizar procedimentos robóticos 24 horas por dia, sem comprometer o fluxo de trabalho (GAGE *et al*., 2024). O crescimento contínuo da robótica na cirurgia é acompanhado por desafios, como a lenta difusão devido aos altos custos, tempos operatórios prolongados e necessidade de treinamento especializado, mas também pela promessa de inovações futuras, como a inteligência artificial e microrobôs, que visam aprimorar ainda mais os resultados cirúrgicos e expandir as aplicações dessa tecnologia revolucionária (REINISCH *et al*., 2023).

Impactos e desafios na evolução da cirurgia robótica em cirurgia geral e emergências abdominais

Os impactos e desafios da cirurgia robótica em cirurgia geral e emergências abdominais foram destacados em um estudo realizado na Universidade de Molise, Helsinki, que avaliou os desfechos pré, intra e pós-operatórios de 36 procedimentos robóticos emergenciais, correspondendo a 4,3% do total de 834 cirurgias robóticas realizadas (CECCARELLI *et al*., 2024). A co-

orte incluiu pacientes com idade média de 63,2 anos, sendo 44,4% homens e 56,6% mulheres, com 30% dos pacientes com 70 anos ou mais. O índice de massa corporal médio foi de 26,68 kg/m², e 22,2% foram classificados como ASA 3, sem inclusão de pacientes ASA 4. A plataforma robótica da Vinci Si foi utilizada em 41,7% dos casos iniciais, enquanto a versão Xi foi empregada em 58,3% dos casos mais recentes (FAIRAG *et al*., 2024).

Não houve necessidade de conversões para cirurgia aberta durante o estudo, com uma taxa de complicações graves de 5,55%, registrada em dois casos - um após cirurgia de urgência e outro em cenário emergencial. As complicações menores foram tratadas conservadoramente e não estavam diretamente relacionadas ao uso da robótica. A mortalidade intraoperatória e em até 30 dias após a cirurgia foi nula. O tempo médio de internação foi de 4,92 dias, e o seguimento médio dos pacientes foi de aproximadamente 26 meses (CECCARELLI *et al*., 2024).

Os resultados sugerem que a cirurgia robótica é segura e eficaz para casos emergenciais em pacientes estáveis hemodinamicamente. Apesar de tradicionalmente validada para laparoscopia, a robótica demonstra benefícios como menor taxa de complicações e maior precisão nas dissecções. É crucial selecionar pacientes adequados e contar com cirurgiões experientes para garantir melhores desfechos. A robótica, particularmente com a plataforma da Vinci Xi, tem mostrado melhorias na eficiência e menor tempo de operação, especialmente em casos complexos (FAIRAG *et al*., 2024).

Históricos de sucesso em procedimentos emergenciais, como estenose gástrica e hérnia de Morgagni, destacam o potencial da robótica. Relatos de casos incluem a aplicação em hérnia hiatal gigante estrangulada e ruptura diafragmática traumática, com bons resultados. Em comparação com laparoscopia, a robótica tem apresentado tempo de início mais curto e custos mais elevados, mas sem diferenças significativas nos resultados pós-operatórios (CECCARELLI *et al*., 2024).

A cirurgia robótica também tem sido aplicada em condições colorretais emergenciais, como diverticulite complicada e câncer do cólon, com resultados comparáveis ou superiores à laparoscopia. A abordagem robótica para apendicite, diverticulite e doenças da vesícula biliar tem mostrado menor taxa de conversão para cirurgia aberta e tempos de internação reduzidos (FAIRAG *et al*., 2024).

Apesar dos avanços, a robótica emergencial está restrita a centros especializados com alta experiência. A expansão futura da tecnologia robótica, incluindo telementoria e telecirurgia, poderá oferecer mais opções para o tratamento de emergências cirúrgicas, demandando uma colaboração estreita entre sistemas de saúde, médicos e desenvolvedores de tecnologias (CECCARELLI *et al*., 2024).

A introdução da tecnologia robótica revolucionou a cirurgia geral e suas subespecialidades, possibilitando procedimentos minimamente invasivos com avanços significativos em áreas como cirurgia colorretal, hepatobiliopancreática, oncológica gástrica, bariátrica, entre outras (FAIRAG *et al*., 2024). A robótica tem se mostrado extremamente eficaz na cirurgia de câncer colorretal, especialmente em procedimentos complexos como a excisão total do mesorreto e a excisão do mesocólon, auxiliando na dissecção vascular, anastomoses intracorpóreas e linfadenectomias. A adoção de sistemas robóticos tornou-se padrão em muitos centros médicos para ressecções retais, evidenciando um aumento no sucesso e nos benefícios dessa abordagem em procedimentos tecnicamente exigentes (FAIRAG *et al*., 2024).

Apesar do alto custo associado, os benefícios da cirurgia robótica são amplamente reconhecidos, com vantagens em relação às técnicas

laparoscópicas tradicionais, incluindo menor perda de sangue, estadias hospitalares mais curtas e melhores resultados oncológicos. Estudos mostram que a cirurgia robótica pode reduzir complicações perioperatórias e infecções no local da cirurgia, oferecendo resultados semelhantes aos da cirurgia aberta, mas com menor risco de complicações e melhor recuperação (CECCARELLI *et al*., 2024).

Na cirurgia bariátrica, a robótica tem sido aplicada desde 1999 e tem mostrado vantagens significativas, especialmente no desvio gástrico Roux-en-Y e na gastrectomia vertical. A robótica permite uma dissecção mais precisa e segura, reduzindo o risco de vazamentos e facilitando a sutura da linha de grampos. A tecnologia também está sendo utilizada para procedimentos primários e revisões, oferecendo vantagens na criação de anastomoses e no fechamento de enterotomias (FAIRAG *et al*., 2024).

Na urologia, a cirurgia robótica tem transformado procedimentos como a prostatectomia, oferecendo maior precisão, visão tridimensional e melhores resultados em termos de perda de sangue, recuperação e resultados funcionais. Em outros campos, como a cirurgia hepatobiliopancreática, a robótica tem demonstrado ser uma ferramenta viável e eficiente, especialmente em procedimentos desafiadores, com uma baixa taxa de conversão e a capacidade de superar limitações encontradas na laparoscopia (CECCARELLI *et al*., 2024).

A cirurgia minimamente invasiva é amplamente adotada no tratamento de pacientes pediátricos, e a cirurgia robótica pediátrica está rapidamente ganhando espaço em várias subespecialidades, como cirurgia geral, torácica, otorrinolaringologia, urologia e oncologia cirúrgica. Entre essas, a urologia pediátrica é a que mais utiliza a cirurgia robótica (FAIRAG *et al*., 2024).

A robótica oferece diversas vantagens, como maior capacidade de manobra, eficiência aprimorada, visualização superior, redução da fadiga do cirurgião e diminuição dos tremores fisiológicos. Essas características tornam os procedimentos menos invasivos, resultando em menor trauma, estadias hospitalares mais curtas, melhor visualização, redução das complicações pós-operatórias, menos dano aos tecidos e cicatrização mais rápida, o que melhora a custo-efetividade (CECCARELLI *et al*., 2024). Apesar das vantagens da cirurgia robótica, a laparoscopia continua a ser mais amplamente aplicada e, em muitos casos, mais econômica, levantando questões sobre o custo-benefício da robótica (FAIRAG *et al*., 2024).

A cirurgia urológica robótica começou com a prostatectomia em adultos e, em 2002, foi realizada a primeira pieloplastia laparoscópica assistida por robô (RALP) em crianças. Em 2015, cerca de 40% das pieloplastias pediátricas nos EUA foram feitas com assistência robótica. Estudos mostram que a RALP oferece tempos operatórios mais curtos, reduções nas estadias hospitalares e taxas de sucesso comparáveis aos procedimentos abertos ou laparoscópicos. Embora a robótica tenha ganhado atenção na cirurgia geral pediátrica, sua aplicação é menos frequente do que na urologia pediátrica. Desde 2001, a fundoplicatura de Nissen é uma das cirurgias gerais robóticas mais comuns em pediatria (CECCARELLI *et al*., 2024).

A cirurgia cardiotorácica robótica ganhou destaque no início do novo milênio, com um crescente interesse em procedimentos menos invasivos para tratamento cardíaco. Sistemas robóticos têm sido adotados para melhorar a precisão em cirurgias minimamente invasivas e endoscópicas, aproveitando sua destreza aprimorada e ampliação tridimensional (3D). Essa tecnologia tem sido aplicada em diversos procedimentos cardíacos, como revascularização coronária, implantação de marcapasso ventricular esquerdo, cirurgia cardíaca congênita e substituição da válvula aórtica, com base no su-

cesso da cirurgia robótica da válvula mitral (FAIRAG *et al*., 2024).

A cirurgia robótica da válvula mitral se tornou a preferida para substituição e reparo dessa válvula em centros especializados, proporcionando melhores resultados, estadias hospitalares mais curtas e tempos de recuperação mais rápidos. O principal objetivo da cirurgia robótica é oferecer a mesma qualidade dos procedimentos tradicionais de esternotomia, mas de maneira menos invasiva. Estudos demonstram que a cirurgia robótica mantém a segurança e eficácia, com vantagens como menor perda de sangue, menor risco de infecção incisional e estadias hospitalares reduzidas em comparação com a esternotomia. Embora os tempos de clampeamento aórtico e circulação extracorpórea sejam mais longos, a cirurgia robótica apresenta uma menor incidência de insuficiência renal pós-operatória e permite um retorno mais rápido às atividades diárias, o que melhora a satisfação dos pacientes (CECCARELLI *et al*., 2024).

A introdução do sistema da Vinci possibilitou novas abordagens cirúrgicas robóticas, incluindo o *bypass* coronário direto assistido por robô e o *bypass* coronário totalmente endoscópico. Revisões sistemáticas mostram que as taxas de mortalidade perioperatória.

Viabilidade, desafios e evidências clínicas do uso da cirurgia robótica em situações de emergência

São escassos os estudos que mostram a real utilização da cirurgia robótica no contexto da urgência e emergência, portanto, nos baseamos em estudos de revisão sistemática para prever a viabilidade, os desafios e as evidências clínicas disponíveis.

Em primeiro lugar, o alto custo dos equipamentos, dos sistemas e dos procedimentos robóticos são fatores que prejudicam a utilização deste meio no contexto da urgência e emergência. Em comparação às cirurgias laparoscópicas, por exemplo, a cirurgia robótica é significativamente mais cara (REINISCH *et al*., 2023).

Porém, a literatura atual indica que há vantagens sobre a cirurgia robótica em comparação à cirurgia por laparoscopia, principalmente quanto à sutura e à dissecção (DE'ANGELIS *et al*., 2022).

Além disso, as cirurgias robóticas, nos estudos, necessitam de um tempo maior para preparação e desenvolvimento do procedimento, o que, em um contexto de emergência, se torna um ponto negativo (REINISCH *et al*., 2023).

Ademais, essas cirurgias em contexto de emergência exigem um cirurgião experiente, uma sala de cirurgia bem equipada e uma equipe de enfermagem treinada (DE'ANGELIS *et al*., 2022).

As cirurgias robóticas podem oferecer a vantagem da telemedicina e da telecirurgia, que podem ser úteis para promover uma abordagem segura e padronizada. Na atualidade, em razão da evolução da telecomunicação – as redes de quinta geração (5G) –, é possível que um cirurgião com experiência opere de forma remota um paciente a quilômetros de distância (DE'ANGELIS *et al*., 2022).

Outro fator importante é que esse tipo de cirurgia, assim como as cirurgias minimamente invasivas (MIS), são na maioria das vezes, destinadas à pacientes estáveis, o que faz o aumento relativo de tempo de operação não ser um fator tão importante (REINISCH *et al*., 2023).

Avanços Tecnológicos e Desafios na Incorporação de Sensação Tátil em Cirurgia Minimamente Invasiva

Diferente da cirurgia aberta, a MIS utiliza pequenas incisões na pele para a inserção dos instrumentos cirúrgicos. Entre suas várias van-

tagens estão a redução da dor pós-operatória, menor tempo de internação e uma curva de aprendizado menor. No entanto, apesar desses benefícios, a MIS enfrenta a limitação da perda do sentido tátil devido ao contato indireto com os tecidos, especialmente em cirurgias assistidas por robótica. Sem *feedback* tátil, os cirurgiões podem aplicar forças excessivas que podem danificar os tecidos. Por isso, surgiu uma necessidade crucial de criar ferramentas MIS sensorizadas que imitem a capacidade do dedo humano de detectar forças normais e de cisalhamento, a maciez dos tecidos e outras propriedades físicas (OTHMAN, *et al*., 2022).

Diversas abordagens estão sendo desenvolvidas para integrar sensores de força em ferramentas MIS, incluindo sensores piezoelétricos, sejam eles resistivos, elétricos ou capacitivos, sensores de fibra óptica, sensores microfluídicos e sensores baseados em imagem.

Os sensores de força piezoresistivos utilizam o efeito piezoresistivo, onde forças mecânicas alteram a resistência elétrica do sensor. Eles são populares na indústria devido ao seu baixo custo, simplicidade e flexibilidade, além de serem menos suscetíveis a ruído e variações de temperatura. No entanto, eles enfrentam desvantagens, como a redução de flexibilidade e sensibilidade com a miniaturização e problemas de histerese que podem causar imprecisões temporárias nas medições. O método mais comum de integração de sensores piezoresistivos para MIS é por meio de uma pinça laparoscópica. Esses sensores podem ser montados na superfície interna das mandíbulas, onde dados de força e preensão são obtidos e enviados aos sistemas para fornecer *feedback* aos cirurgiões (OTHMAN, *et al*., 2022).

Sensores de força piezoelétricos dependem do efeito piezoelétrico, em que forças mecânicas impostas a um elemento piezoelétrico geram cargas elétricas mensuráveis. Essas cargas são transformadas em tensão por um amplificador, que a traduz em pressão. Embora esses sensores sejam ideais para medir forças dinâmicas, eles têm dificuldade em medir forças estáticas por longos períodos, pois a tensão gerada diminui com o tempo (OTHMAN, *et al*., 2022).

Sensores táteis capacitivos funcionam comprimindo um material dielétrico, que altera a distância entre dois eletrodos e muda a capacitância do sensor. Essa mudança é traduzida em força pelo circuito do sensor. O material dielétrico é projetado para ser altamente deformável, respondendo bem a pequenas cargas. Esses sensores ganharam destaque no design de circuitos devido à sua alta sensibilidade elétrica, excelente repetibilidade, baixo consumo de energia, layout compacto, resposta linear, construção simples e imunidade a variações de temperatura e ruídos térmicos, especialmente em comparação com os sensores piezoelétricos e piezoresistivos. Apesar das vantagens, os sensores capacitivos têm limitações em aplicações de alta precisão devido a problemas de repetibilidade causados por histerese e diafonia. Além disso, a detecção de força capacitiva pode sofrer com a não linearidade, já que a saída é inversamente proporcional à distância entre as placas de detecção (OTHMAN, *et al*., 2022).

Os sensores de fibra óptica funcionam transmitindo luz através de uma fibra óptica para um detector. O sensor altera características da luz, como intensidade, comprimento de onda, amplitude e fase, devido a mudanças no ambiente externo, como pressão, tensão, aceleração ou temperatura. Após a modificação, a luz alterada é enviada para um processador de sinal. E com base na extensão das características alteradas da luz, a extensão das mudanças no ambiente externo, força aplicada em nosso caso, pode ser determinada. O sensor de fibra óptica mais utilizado é o sensor de rede de Bragg de fibra (FBG). Esses sensores possuem

como qualidades versatilidade e biodisponibilidade. Entretanto, os sensores de fibra óptica costumam ser mais caros do que seus equivalentes não ópticos, bem como muito mais complexos em conceito, exigindo muita engenharia de precisão e procedimentos específicos de instalação (OTHMAN, *et al.*, 2022).

Os sensores microfluídicos e sensores baseados em imagem são considerados tecnologias emergentes de detecção tátil. Esse primeiro baseia-se na incorporação de metais líquidos em materiais elásticos. Sob deformação mecânica, a detecção de força resulta principalmente do fluxo de substâncias líquidas através dos microcanais, resultando em uma mudança na resposta do sensor. A segunda técnica de detecção utiliza um sistema de imagem para rastrear a deformação induzida do diafragma de detecção, ou pele, pela utilização de um sistema de câmera com alta resolução e tempo de resposta rápido. Ambas as técnicas têm mostrado grande potencial e maior sensibilidade em comparação com métodos tradicionais de detecção tátil, especialmente no campo da robótica (OTHMAN, *et al.*, 2022).

Evolução e impacto da cirurgia robótica: da inovação à prática clínica

A evolução da cirurgia robótica, desde suas primeiras inovações até sua ampla aplicação na prática clínica, é marcada por avanços tecnológicos e transformações significativas no campo da cirurgia minimamente invasiva. O desenvolvimento inicial se deu com o Sistema Zeus, introduzido pela *Computer Motion* em 1998, seguido pelo Sistema Da Vinci da *Intuitive Surgical,* aprovado pela FDA em 2000. Esses sistemas revolucionaram a abordagem cirúrgica ao permitir que procedimentos complexos fossem realizados com maior precisão, menos invasividade e melhores resultados clínicos, estabelecendo um novo padrão na medicina moderna (DE OLIVEIRA *et al.*, 2022).

O impacto da cirurgia robótica na prática clínica foi imediato e abrangente, tornando-se uma tecnologia predominante em várias especialidades, incluindo cirurgia torácica, ginecológica, urológica e neurocirurgia. Sua principal vantagem está na capacidade de realizar procedimentos com menor trauma cirúrgico, resultando em uma recuperação mais rápida, menores taxas de complicações e resultados estéticos superiores. A estabilidade dos movimentos robóticos, combinada com a visualização tridimensional de alta precisão, proporcionou aos cirurgiões uma maior confiança em procedimentos complexos, minimizando o risco de erro humano (CHAVES *et al.*, 2024).

A evolução da cirurgia robótica está profundamente enraizada em inovações anteriores, como as tecnologias de telemonitoramento desenvolvidas pela NASA nos anos 1950, que visavam fornecer assistência médica remota em ambientes desafiadores. Esses conceitos foram fundamentais para a criação de sistemas cirúrgicos que permitissem ao cirurgião operar com precisão, mesmo a distância, e formaram a base das tecnologias robóticas atuais (CHAVES *et al.*, 2024). Além de sua aplicação em cirurgias de alta complexidade, como a ressecção de tumores mediastinais e pulmonares, a cirurgia robótica se expandiu para outras áreas, incluindo a neurocirurgia e a ginecologia, sempre com foco na precisão e no controle aprimorado.

Com o passar do tempo, a cirurgia robótica incorporou novas tecnologias assistivas, como instrumentos motorizados avançados e sistemas de navegação intraoperatória, o que aumentou ainda mais a segurança e a eficácia dos procedimentos. Protocolos de segurança robustos e técnicas minimamente invasivas foram adotados para reduzir os riscos cirúrgicos e acelerar a recuperação dos pacientes. A introdução de

tecnologias de imagem intraoperatória, como a fluorescência e a tomografia computadorizada de alta resolução, também desempenhou um papel crucial ao permitir que os cirurgiões visualizassem com clareza as estruturas anatômicas durante os procedimentos, aumentando a precisão e reduzindo as complicações (DE OLIVEIRA *et al*., 2022).

A integração de biomateriais inovadores, que auxiliam na regeneração tecidual e na prevenção de infecções, juntamente com avanços na gestão perioperatória, ajudou a consolidar a cirurgia robótica como uma opção cada vez mais segura e eficaz. Além disso, a personalização dos tratamentos, com base em dados genômicos e outras características individuais dos pacientes, tornou-se uma tendência importante no uso da cirurgia robótica, permitindo que os procedimentos sejam ajustados para maximizar os resultados clínicos e minimizar os riscos (CHAVES *et al*., 2024).

À medida que a cirurgia robótica continua a evoluir, novas tecnologias e abordagens personalizadas são constantemente incorporadas. A capacitação contínua dos cirurgiões e o aprimoramento dos sistemas robóticos garantem que essa tecnologia se mantenha na vanguarda da medicina moderna, oferecendo benefícios tanto para os pacientes quanto para os profissionais de saúde. Assim, a cirurgia robótica representa um marco na transição da inovação para a prática clínica, impactando positivamente a qualidade dos cuidados cirúrgicos e transformando profundamente a forma como muitos procedimentos são realizados (OLIVEIRA *et al*., 2022).

Expansão da cirurgia robótica em casos agudos: a experiência da *Ohio State University*

A cirurgia minimamente invasiva (MIS), que inclui tanto a laparoscopia quanto a cirurgia robótica, tem sido utilizada como uma alternativa à cirurgia aberta. As técnicas laparoscópicas foram introduzidas pela primeira vez em 1910, porém sofreram críticas iniciais, se tornando populares muito tempo depois. Apesar disso, atualmente cerca de 15 milhões de procedimentos MIS são realizados globalmente a cada ano, dos quais quase 5 milhões ocorrem nos Estados Unidos (GAGE *et al*., 2024).

A MIS oferece várias vantagens sobre a cirurgia aberta, incluindo menores taxas de complicações operatórias e pós-operatórias, redução da internação hospitalar e menos dor pós-operatória. Dentro do MIS, tanto a laparoscopia quanto a cirurgia robótica apresentam resultados semelhantes em termos de morbimoratlidade. No entanto, estudos mostram que a cirurgia robótica pode ter menores taxas de complicações em procedimentos como histerectomia, gastrectomia e ressecção de câncer retal. Além disso, ela pode proporcionar melhor satisfação estética, função sexual e continência, melhorando a qualidade de vida dos pacientes em comparação com a laparoscopia (GAGE *et al*., 2024).

Apesar das vantagens, a cirurgia robótica não tem sido a primeira escolha para pacientes cirúrgicos agudos, sendo utilizada para procedimentos cirúrgicos eletivos melhorando a qualidade de vida dos pacientes em comparação com a laparoscopia (GAGE *et al*., 2024). Sendo assim, a *Ohio State University* (OSU), um grande centro médico acadêmico, desenvolveu um programa para implementar cirurgia robótica em cuidados agudos.

O programa de cirurgia robótica da OSU foi liderado por cirurgiões robóticos experientes e executado em colaboração entre a Divisão de Trauma, Cuidados Críticos e Queimaduras e a Divisão de Cirurgia Geral e Gastrointestinal. Além dos cirurgiões de cuidados agudos, o programa envolveu representantes de anestesiolo-

gia, *Central Sterile Supply*, equipe da recepção da sala de cirurgia, enfermeiros circulantes, tecnólogos cirúrgicos e membros da *Intuitive Surgical, Inc.* Para obter a certificação em robótica, o corpo docente cirúrgico precisou completar cinco casos como aprendizes. O programa também incluiu palestras e *workshops* liderados por um representante da *Intuitive Surgical, Inc*, o que proporcionou à equipe exposição adicional à cirurgia robótica, dentro e fora da sala de cirurgia (GAGE *et al*., 2024).

Com o programa, atualmente seis docentes e dois bolsistas estão credenciados em cirurgia robótica, com outros cirurgiões em processo de treinamento. Diversos funcionários completaram o treinamento para atuar como assistentes operacionais. A capacidade de realizar cirurgias robóticas em cuidados agudos mais que dobrou em um ano, passando de 77 para 172 casos entre 2022 e 2023. Pacientes selecionados estão sendo submetidos a procedimentos robóticos em situações agudas, e esforços contínuos estão em andamento para desenvolver diretrizes sobre quais pacientes se beneficiariam mais desses procedimentos (GAGE *et al*., 2024).

CONCLUSÃO

A evolução da cirurgia robótica em contextos de urgência e emergência ainda enfrenta desafios significativos, especialmente em termos de viabilidade financeira e tempo operatório, que são fatores críticos nesses cenários. O alto custo dos equipamentos e procedimentos robóticos, aliado à necessidade de cirurgiões altamente qualificados e equipes treinadas, limita sua implementação em muitos centros. Além disso, a preparação mais demorada e o aumento do tempo cirúrgico tornam a robótica menos atraente para situações emergenciais, nas quais o fator tempo é crucial. No entanto, estudos indicam que, quando aplicável, a precisão da cirurgia robótica, especialmente em técnicas de sutura e dissecção, pode oferecer vantagens consideráveis sobre a laparoscopia tradicional.

A experiência de instituições como a *Ohio State University* (OSU) demonstra que, com a infraestrutura e o treinamento adequados, é possível expandir o uso da cirurgia robótica para casos agudos, com resultados promissores. A iniciativa da OSU, que envolveu uma ampla colaboração interdisciplinar e treinamento específico, permitiu o aumento substancial do número de procedimentos robóticos em contextos de emergência. Isso sugere que, embora ainda seja restrita a centros especializados, a cirurgia robótica pode ser implementada de forma eficaz e segura em situações de urgência, desde que se garanta a seleção adequada dos pacientes e o suporte de uma equipe experiente.

Em síntese, embora a cirurgia robótica ofereça benefícios inquestionáveis, sua expansão em emergências depende de uma combinação de fatores tecnológicos, econômicos e operacionais. A telecirurgia e a integração de novas tecnologias, como a inteligência artificial e redes 5G, oferecem oportunidades promissoras para superar algumas das limitações atuais, como a falta de cirurgiões experientes em áreas remotas. Contudo, é fundamental que a adoção dessa tecnologia seja acompanhada por mais estudos clínicos robustos, que forneçam evidências sobre sua eficácia e segurança em emergências, garantindo que a sua utilização beneficie os pacientes de forma consistente e eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOAL, M. *et al*. Evaluation status of current and emerging minimally invasive robotic surgical platforms. In Surgical Endoscopy, v. 38, Issue 2, p. 554, 2024. https://doi.org/10.1007/s00464-023-10554-4.

CECCARELLI, G. *et al.* Emergency robotic surgery: the experience of a single center and review of the literature. World Journal of Emergency Surgery, v. 19, n. 28, 2024. https://doi.org/10.1186/s13017-024-00555-6.

CHAVES, V. *et al*. Inovações na Conduta Cirúrgica de Procedimentos Gerais: ma Meta-Análise. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 10, n. 5, p. 1093, 2024. https://doi.org/10.51891/rease.v10i5.13813.

DE'ANGELIS, N. *et al*. Robotic surgery in emergency setting: 2021 WSES position paper. In World Journal of Emergency Surgery, v. 17, Issue 4, 2022. https://doi.org/10.1186/s13017-022-00410-6.

DE OLIVEIRA, M. *et al*. Inovações em cirurgia robótica para manejo minimamente invasivo / Innovations in robotic surgery for minimally invasive management. Brazilian Journal of Health Review, v. 5, n. 2, p. 6515, 2022. https://doi.org/10.34119/bjhrv5n2-223.

FAIRAG, M. *et al*. Robotic Revolution in Surgery: Diverse Applications Across Specialties and Future Prospects Review Article. Cureus, v. 16, n. 1, p. e52148, 2024. https://doi.org/10.7759/cureus.52148.

GAGE, D. *et al.* Establishment of a 24/7 robotic acute care surgery program at a large academic medical center. Surgical Endoscopy, v. 38, p. 4663, 2024. https://doi.org/10.1007/s00464-024-11036-x.

OTHMAN, W. *et al.* Tactile Sensing for Minimally Invasive Surgery: Conventional Methods and Potential Emerging Tactile Technologies. In Frontiers in Robotics and AI, v. 8, p. 705662, 2022. doi: 10.3389/frobt.2021.705662.

REINISCH, A. *et al.* Robotic operations in urgent general surgery: a systematic review. In Journal of Robotic Surgery, v. 17, Issue 2, p. 275, 2023. https://doi.org/10.1007/s11701-022-01425-6.