

ATUALIZAÇÃO DE TEMA



Atualização em Cirurgia Assistida por Robótica na Urologia

Update on Robotic-Assisted Surgery in Urology

Merson Almeida^{1*}, José Abraão Neto¹, Eduardo Café¹, Vitor Pereira², Isabella Motta², Felipe Mathias², Carolina Atayde², Bruno Suffredini¹, Daniel Porto¹

¹Serviço de Urologia e Preceptorial do Programa de Residência Médica em Urologia do Hospital Santa Izabel, Santa Casa de Misericórdia da Bahia; ²Residência do Programa de Residência Médica em Urologia do Hospital Santa Izabel, Santa Casa de Misericórdia da Bahia; Salvador, Bahia, Brasil

Correspondence addresses:

Dr. Merson Almeida
merson_almeida@hotmail.com

Received: March 6, 2025

Revised: May 20, 2025

Accepted: May 25, 2025

Published: June 30, 2025

Data Availability Statement:

All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Funding: This work was the result of authors' initiative. There was no support of research or publication funds.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

Copyright

© 2025 by Santa Casa de Misericórdia da Bahia. All rights reserved.
e-ISSN: 2764-2089
ISSN: 2526-5563

A cirurgia robótica representa um dos maiores avanços da cirurgia minimamente invasiva nas últimas décadas, especialmente na urologia, especialidade pioneira na incorporação dessa tecnologia. Este trabalho tem como objetivo revisar a evolução histórica, os benefícios, as principais aplicações e os desafios atuais da cirurgia robótica na urologia. A literatura evidencia que a plataforma robótica proporciona benefícios relevantes, como maior precisão, melhor ergonomia, menor morbidade e melhores desfechos funcionais em comparação às abordagens aberta e laparoscópica, como na uro-oncologia, com destaques para a prostatectomia radical, a nefrectomia parcial, a cistectomia radical e a nefroureterectomia. Além disso, tem demonstrado resultados promissores no tratamento de patologias benignas, como a OJUP e HPB. Apesar da consolidação da técnica, ainda persistem desafios relacionados aos altos custos, à concentração de plataformas em grandes centros e às barreiras no acesso a treinamentos estruturados. Entretanto, com o desenvolvimento de novas plataformas, maior competitividade no mercado e avanços na formação profissional, espera-se uma progressiva democratização da cirurgia robótica, consolidando seu papel na prática urológica moderna.

Palavras-chave: Cirurgia Robótica; Cirurgia Minimamente Invasiva; Sistema da Vinci; Uro-oncologia; Opção de Primeira Escolha.

Robotic surgery represents one of the most significant advances in minimally invasive surgery in recent decades, particularly in urology, a specialty that pioneered the adoption of this technology. This study aims to review the historical evolution, benefits, main applications, and current challenges of robotic surgery in urology. The literature demonstrates that robotic platforms offer substantial advantages, including greater precision, improved ergonomics, lower morbidity, and better functional outcomes compared to open and laparoscopic approaches, particularly in uro-oncology, with a focus on radical prostatectomy, partial nephrectomy, radical cystectomy, and nephroureterectomy. Moreover, it has shown promising results in the treatment of benign conditions, such as UPJO and BPH. Despite the consolidation of the technique, challenges related to high costs, the concentration of robotic systems in large centers, and barriers to access standardized training persist. However, with the development of new platforms, increased market competition, and advancements in surgical training, a progressive democratization of robotic surgery is expected,

further consolidating its role in modern urological practice. Keywords: Robotic Surgery; Minimally Invasive Surgery; da Vinci System; Uro-oncology; First Choice Option.

AMB: Associação Médica Brasileira. HSI: Hospital Santa Izabel. OJUP: obstrução da junção ureteropélvica. HPB: hiperplasia prostática benigna. CP: câncer de próstata. PRAR: prostatectomia radical assistida por robô. PRA: prostatectomia radical aberta. HR: hazard ratio. OR: odds ratio. IC: intervalo de confiança. PRL: prostatectomia radical laparoscópica. NPRA: nefrectomia parcial robô assistida. NPA: nefrectomia parcial aberta. RR: risco relativo. CR: cistectomia radical. CRRRA: cistectomia radical robô assistida. CRA: cistectomia radical aberta. SLD: sobrevida livre de doença. SG: sobrevida global. EAU: Associação Europeia de Urologia. NU: nefroureterectomia. CUTS: carcinoma urotelial do trato urinário superior. NUR: nefroureterectomia robótica. SCE: sobrevida câncer-específica. SLR: sobrevida livre de recorrência. SUS: Sistema Único de Saúde. ERUS: seção de cirurgia robótica da associação europeia de urologia. PBP: Proficiency-Based Progression. NASA: National Aeronautics and Space Administration. SRI: Stanford Research Institute.

História e Evolução da Cirurgia Robótica

"A necessidade é a mãe da inovação", Platão.

As últimas décadas testemunharam um crescimento exponencial da tecnologia médica e um dos eventos mais marcantes é o uso da plataforma robótica aplicada à cirurgia. Os robôs já fazem parte da realidade de muitos cirurgiões, impactando de forma positiva na vida de milhares de pacientes, se tornando o novo padrão de tratamento para diversas doenças.¹

A ideia de criar uma máquina capaz de realizar ou reproduzir tarefas humanas com aplicações na área da saúde, começou há mais de 60 anos no campo militar, com o objetivo de melhorar a qualidade da assistência à saúde em ambientes hostis e de difícil acesso. A sala de cirurgia e o cirurgião estariam mais próximos dos soldados, permitindo uma intervenção mais rápida. A Corrida Espacial também contribuiu para o desenvolvimento da cirurgia robótica, principalmente com o conceito de telepresença e telemanipulação.¹

A primeira plataforma robótica utilizada em humanos foi utilizada em 1985 para realizar biópsias neurocirúrgicas. Depois disso, houve uma adaptação para procedimentos urológicos no *Imperial College* (Londres, Inglaterra).

Em 1992, um sistema guiado por imagem foi desenvolvido para cirurgias de prótese total de quadril. Já em 1998, a *Computer Motion Inc.* (Santa Barbara, CA, USA) apresentou o sistema Zeus (*Computer Motion Inc.*, CA, USA), com braços e instrumentos controlados pelo cirurgião, introduzindo o conceito de telepresença, em que

o cirurgião comanda o robô.¹

Enquanto os robôs cirurgiões eram idealizados nos bastidores, a cirurgia minimamente invasiva foi se tornando realidade, como uma alternativa com menos dor pós-operatória e recuperação cirúrgica mais rápida. Apesar dos avanços significativos, as abordagens laparoscópicas e endoscópicas têm algumas limitações, tais como visão bidimensional, capacidade limitada na movimentação das pinças cirúrgicas e dificuldades de mobilidade.²

Em 1995, foi fundada a *Intuitive Surgical Inc.* (Sunnyvale, CA, USA) que, três anos depois, trouxe para o uso humano o primeiro sistema que seria a plataforma robótica de maior sucesso até agora: o Sistema Cirúrgico da Vinci (*Intuitive Surgical*, CA, USA; da Vinci).¹

Nos anos 2000, o da Vinci obteve aprovação do *Food and Drug Administration* [(agência governamental dos Estados Unidos da América (EUA) encarregada pela regulamentação de equipamentos médicos, alimentos e produtos biológicos] para procedimentos laparoscópicos gerais e se tornou o primeiro robô cirúrgico operatório dos EUA. Já em 2001, foi realizada, com o sistema Zeus, a primeira cirurgia remota, com o paciente e o cirurgião separados pelo Oceano Atlântico.¹

Em 2003, houve a absorção da empresa *Computer Motion* pela *Intuitive Surgical*. Desde então, observamos a rápida evolução da plataforma da Vinci. O sistema mais novo e avançado até o momento é o da Vinci 5, que foi lançado em 2024 (Figura 1).³

A robótica já mostrou enorme impacto sobre o campo cirúrgico e é parte da evolução da cirurgia

Figura 1. Sistema Cirúrgico da Vinci 5 (*Intuitive Surgical*, CA, USA). O sistema é composto por: Console do Cirurgião, Carrinho de Visão e Carrinho do Paciente (da esquerda para a direita na imagem).



minimamente invasiva. A cirurgia robótica está se disseminando rapidamente e tem superado limitações da laparoscopia, pois oferece alta definição, visão estereoscópica tridimensional e ampliação, câmera estável e guiada pelo cirurgião, ergonomia aprimorada, amplitude superior de movimento e de escala, alta precisão e controle de tremor.^{1,2}

As plataformas robóticas já estão aprovadas para uma grande variedade de procedimentos e vem mostrando superioridade em muitas áreas, tais como a Urologia. Pacientes submetidos a prostatectomia radical vem apresentando menor tempo de internamento, menor taxa de transfusão sanguínea e menos complicações, quando comparada com a cirurgia aberta.²

Cirurgia Robótica no Mundo, no Brasil e na Bahia

Nos últimos 20 anos, a plataforma robótica mais utilizada foi o da Vinci. Em 2020, existiam mais de 5.700 unidades em todo o mundo. Hoje, está presente em 71 países, com mais 8.600 robôs e mais de 14 milhões de cirurgias realizadas.

A cada 13,8 segundos, um cirurgião inicia um procedimento usando esta plataforma robótica.⁴

Atualmente, outras empresas têm lançado sistemas robóticos que começam a se difundir, tais como o Versius (*CMR Surgical*, Cambridge, UK) e o Hugo (*Medtronic*, MN, USA). A chegada de novas plataformas pode facilitar o acesso e baratear o custo.

Cerca de 1,2 milhão de cirurgias robóticas são realizadas anualmente em todo o mundo. No Brasil, a técnica começou em 2008 e tem crescido exponencialmente com um aumento de 417% de procedimentos nos últimos cinco anos em comparação com a década anterior. A Associação Médica Brasileira (AMB) destaca que, de 2018 a 2022, foram realizadas 88 mil cirurgias robóticas.

Na Bahia, a tecnologia chegou em 2019, sendo o Hospital Santa Izabel (HSI) o responsável pelo pioneirismo da inovação no estado. Além disso, a tecnologia está chegando ao interior do estado da Bahia. Em 2025, um hospital privado lançou seu programa de cirurgia robótica em Vitória da Conquista com o Versius, sendo este, o primeiro robô do interior do Nordeste do país.

A maior parte dos desafios enfrentados na implementação e no uso dos sistemas robóticos está relacionada aos custos e ao maior tempo operatório. Esta última barreira já está sendo vencida à medida que a experiência e a aptidão dos cirurgiões aumentam. Em relação aos custos, é possível que os benefícios justifiquem o preço e resultem em vantagem para o paciente.¹

Cirurgia Robótica no Hospital Santa Izabel

O HSI foi o primeiro hospital do estado da Bahia a oferecer a plataforma robótica a seus pacientes em 2019. A primeira cirurgia realizada foi uma prostatectomia radical feita pelo Serviço de Urologia do hospital.

Ainda hoje, o Programa de Cirurgia Robótica do Hospital Santa Izabel se mantém como uma referência em cirurgia robótica do Norte e Nordeste, onde já foram realizadas mais de três mil cirurgias com o sistema da Vinci (Figura 2).

De março de 2019 até maio de 2025, foram realizadas 3.170 cirurgias robóticas no HSI. Destrinchando esse número, é possível observar que as cirurgias vêm aumentando ao longo dos

anos. Em 2019, foram 148 casos. Já em 2024, aconteceram 689 cirurgias e até o mês de maio desde ano de 2025 são 339 procedimentos realizados utilizando o robô da Vinci (Figura 3).

A Urologia desempenha um papel fundamental na disseminação da tecnologia e na quantidade das cirurgias realizadas. Nos seis anos de história da cirurgia robótica no HSI, a Urologia foi responsável pela maior parte dos procedimentos realizados, com 79,44% das cirurgias com o da Vinci.

Na sequência, citamos como especialidades mais relevantes, a Ginecologia com 6,21% e a Coloproctologia com 3,56% das cirurgias. Outras especialidades que também fazem uso da plataforma robótica são: cirurgia torácica (3,34%); cirurgia oncológica (2,18%); cirurgia geral (1,83%); otorrinolaringologia (1,55%); cirurgia de cabeça e pescoço (1,29%); e cirurgia pediátrica (0,6%) (Figura 4).

Atualmente, o HSI é o maior programa de cirurgia robótica do Norte/Nordeste, além de figurar entre os principais programas do Brasil, o que reforça o compromisso da instituição com a constante modernização e capacitação dos profissionais envolvidos.

Figura 2. Sala de cirurgia no Hospital Santa Izabel equipada com o robô da Vinci.



Fihura 3. Número de cirurgias realizadas por ano no Hospital Santa Izabel. Em 2025, foram realizadas 339 cirurgias até o mês de maio. Observação: o valor 813 mostrado no gráfico para o ano de 2025 é uma estimativa com base nos dados atuais para evidenciar o crescimento do número de cirurgias ano após ano.

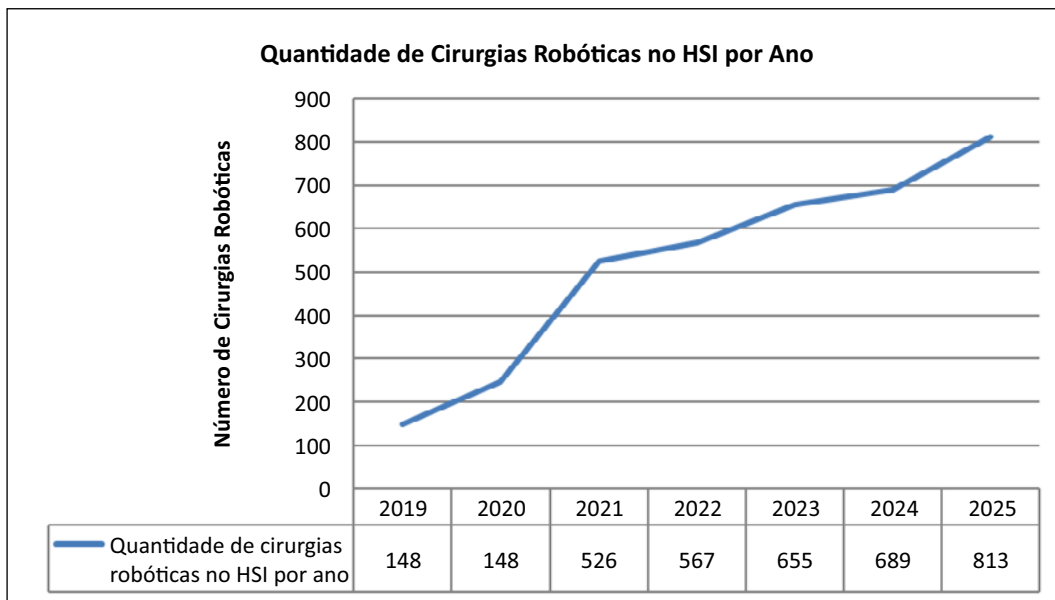
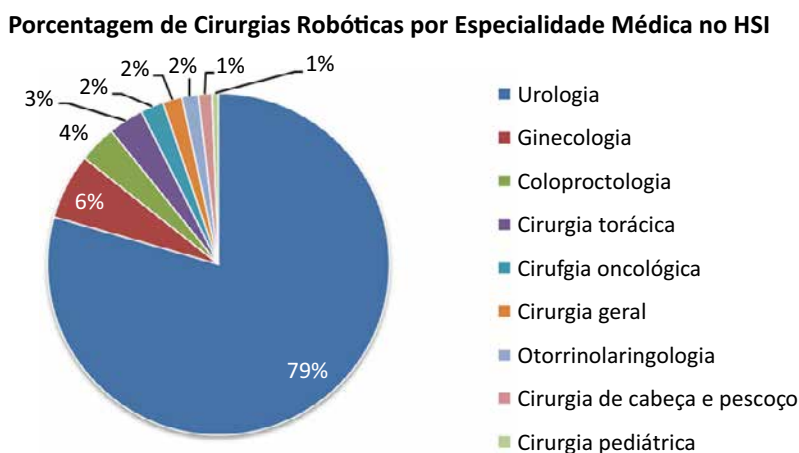


Figura 4. Gráfico esquematiza a porcentagem das cirurgias com o da Vinci por especialidade médica no Hospital Santa Izabel.



Benefícios da Cirurgia Robótica

A cirurgia minimamente invasiva tradicional – como a endoscopia, laparoscopia e toracoscopia assistidas por vídeo – oferece uma série de benefícios já amplamente documentados, incluindo incisões menores, menor morbidade, recuperação acelerada, dor reduzida, tempo

de internação hospitalar mais curto e melhor resultado estético.⁵

Apesar disso, essas técnicas apresentam também limitações significativas, dentre as quais se destacam: visualização bidimensional com percepção de profundidade reduzida, instabilidade da câmera devido ao controle manual, restrição dos instrumentos manuais retos

(ou seja, não conseguem realizar movimentos de translação e nem movimentos articulados complexos), fadiga e lesões musculoesqueléticas relacionadas ao esforço físico do cirurgião, além de uma curva de aprendizado acentuada.⁵

Nesse contexto, a cirurgia robótica surgiu como um avanço tecnológico com o propósito de superar essas limitações, facilitando a precisão e a exatidão nas etapas de dissecação e reconstrução, sobretudo em regiões anatômicas profundas, estreitas ou de difícil acesso, como a pelve, o abdome e o tórax.⁵ Essa evolução permitiu a expansão do uso de técnicas minimamente invasivas para procedimentos mais complexos, a exemplo da prostatectomia radical, e contribuiu para sua incorporação progressiva em diversas especialidades, como cirurgia do aparelho digestivo e colorretal, ginecologia e cirurgia torácica.⁶

Entre os principais benefícios proporcionados pela plataforma robótica ao cirurgião, destacam-se: controle direto da câmera pelo operador, visualização tridimensional em alta definição com ampliação da imagem, instrumentos articuláveis (possibilitando agora movimentos de translação e articulados complexos, além da capacidade de acessar o ponto-alvo por múltiplas trajetórias), ergonomia aprimorada e supressão de tremores fisiológicos. Ademais, essa tecnologia facilita a transição de cirurgias habituadas à técnica aberta para procedimentos minimamente invasivos, contribuindo para uma curva de aprendizado mais eficiente.⁶

Cada vez mais, estudos contemporâneos destacam os benefícios do uso da plataforma robótica. Em uma metanálise de 2025, que utilizou 230 estudos de base ao longo de 12 anos feitos em 22 países e comparou diversas intervenções oncológicas pélvicas, abdominais e torácicas, mostrou com dados estatisticamente significativos que a cirurgia robótica teve menos conversões (56% menor chance), transfusões (21% menor), complicações pós-operatórias (10% menor probabilidade), readmissões e mortes em comparação com as cirurgias minimamente

invasivas tradicionais (endoscopia, laparoscopia e toracoscopia videoassistida).

Ainda, ao utilizar o robô da Vinci em comparação com a cirurgia aberta, apresentou menor perda de sangue (diferença média de 293,44 mL) e menos transfusões (75% inferior), complicações pós-operatórias (44% menor probabilidade), readmissões e mortes, também com todos os dados significativos do ponto de vista estatístico. A cirurgia robótica teve maior tempo cirúrgico, com 17,7 minutos a mais que os procedimentos abertos e 40,9 minutos a mais que as cirurgias minimamente invasivas tradicionais.⁵

Principais Utilizações da Cirurgia Assistida por Robótica na Urologia

Doenças Urológicas Benignas

A cirurgia robótica tem se consolidado como uma alternativa eficaz para o tratamento de doenças urológicas benignas, especialmente na obstrução da junção ureteropélvica (OJUP) e na hiperplasia prostática benigna (HPB), ampliando as possibilidades terapêuticas disponíveis.

No manejo da OJUP, a pieloplastia desmembrada, com sua descrição clássica proposta por Anderson-Hynes, permanece como o procedimento de escolha, sendo a via laparoscópica amplamente adotada nos centros especializados. No entanto, essa abordagem exige habilidades avançadas, sobretudo para a realização de suturas intracorpóreas, o que pode representar um desafio significativo para cirurgias em fase de aprendizado. Gettman e colaboradores relataram a primeira série de casos de pieloplastia assistida por robô utilizando o sistema da Vinci em 2002, demonstrando que os movimentos articulados, o controle intuitivo e a precisão da plataforma robótica facilitam substancialmente a etapa das suturas, reduzindo a complexidade técnica e encurtando a curva de aprendizado.⁷

Apesar da escassez de estudos prospectivos randomizados comparando diretamente as abordagens aberta, laparoscópica e robótica em

adultos, séries de casos sugerem que a pieloplastia robótica apresenta tempo operatório reduzido em relação à laparoscopia, com desfechos clínicos comparáveis e sem diferenças significativas em complicações ou taxas de sucesso.⁸ Dessa forma, a escolha entre as técnicas ainda depende, em grande parte, da expertise do cirurgião e da disponibilidade de recursos institucionais.

O espectro terapêutico evoluiu consideravelmente nas últimas duas décadas para a HPB. Tradicionalmente, para próstatas com volume acima de 80 gramas, a prostatectomia simples aberta era considerada a técnica cirúrgica padrão-ouro. Com o tempo, técnicas minimamente invasivas, como a prostatectomia simples robótica e a enucleação com laser de alta potência, passaram a oferecer alternativas menos invasivas e com resultados comparáveis.

A primeira descrição da prostatectomia simples robótica foi feita por Sotelo e colaboradores, em 2008, marcando o início de uma nova abordagem minimamente invasiva para o tratamento de grandes volumes prostáticos.⁹ Embora ainda não existam ensaios clínicos randomizados comparando diretamente essa técnica com outras modalidades, diversas séries de casos apontam resultados funcionais semelhantes à via aberta convencional, com potencial vantagem em termos de menor perda sanguínea, menor taxa de transfusão de hemoderivados, redução do tempo de internação, menor necessidade de irrigação pós-operatória, menor tempo de cateterização e incisões menores.⁸ Entretanto, poucos estudos avaliaram a eficácia da prostatectomia simples robótica em glândulas de grande volume superior a 150 gramas e há uma carência significativa de estudos de qualidade comparando com técnicas como a enucleação a laser, que hoje é considerada a primeira opção de tratamento para próstatas de todos os tamanhos.

Em síntese, a cirurgia robótica oferece vantagens técnicas importantes no tratamento de patologias urológicas benignas, com perfil de segurança e eficácia promissores. No entanto, diante da escassez de evidências, é necessário a utilização de critérios clínicos individualizados,

além da necessidade de novos estudos que consolidem o papel das plataformas robóticas frente às abordagens convencionais.

Doenças Urológicas Malignas – Uro-Oncologia

Câncer de Próstata

O câncer de próstata (CP) é uma das neoplasias malignas mais diagnosticadas no mundo ocidental, acometendo cerca de 1,4 milhão de homens e responsável por aproximadamente 375 mil mortes anuais.¹⁰ Dentre as modalidades de tratamento atualmente, a prostatectomia radical consiste ainda como a principal opção de tratamento para o CP localizado.

O objetivo da prostatectomia radical em qualquer abordagem é extirpar o câncer e, sempre que possível, preservar a continência urinária e a função erétil peniana, que são problemas comuns após essa cirurgia. A prostatectomia radical assistida por robô (PRAR) representa, de longe, a principal aplicação da plataforma robótica na Urologia, justamente por possibilitar uma melhor preservação das estruturas pélvicas que influenciam as funções miccional e sexual.¹¹

Estudos retrospectivos históricos com 10 anos de acompanhamento ajudam a comprovar a segurança oncológica da PRAR e, em comparação com a prostatectomia radical aberta (PRA), existem estudos com resultados de médio prazo que confirmam a eficácia da PRAR.¹¹

Pela primeira vez, Wang e colaboradores (2019), utilizando análise epidemiológica do *National Cancer Database* (banco de dados clínicos norte-americano com ênfase em doenças oncológicas), relataram um pequeno, mas estatisticamente significativo, incremento na melhoria da mortalidade por todas as causas em 5 anos de acompanhamento com a PRAR em comparação com a PRA para o CP localizado (3,9% contra 5,5%, HR, 0,73; $p < 0,001$).¹²

Em um ensaio multicêntrico não randomizado controlado e prospectivo sueco, o estudo LAPPRO, com acompanhamento por 24 meses,

que comparou a PRAR e a PRA, concluiu que não houve diferenças na recorrência ou doença residual. No entanto, os autores encontraram uma vantagem moderadamente considerável para a PRAR em termos de preservação do grau de ereção peniana, mas sem diferença significativa nas taxas de incontinência urinária.¹³

Segundo Haglind e colaboradores (2015), em um estudo controlado prospectivo não randomizado de pacientes submetidos à prostatectomia radical em 14 centros, utilizando a PRAR ou a PRA, mostrou que um ano após a PRAR, 21,3% dos pacientes apresentavam incontinência, e que após a PRA esse número foi de 20,2% (OR ajustado: 1,08; IC 95%: 0,87–1,34); já a disfunção erétil foi identificada em 70,4% após a PRAR e 74,7% após a PRA com OR ajustado de 0,81 (IC 95%: 0,66–0,98).¹⁴

Esse estudo recebeu críticas porque mostrou taxas mais elevadas do que o esperado de disfunção erétil e incontinência urinária, tanto na abordagem aberta quanto na robótica. Isso pode ter acontecido devido ao fato de o estudo ter sido feito em uma população não selecionada (não apenas em centros especializados) e ter utilizado definições objetivas e rigorosas com questionários validados e critérios claros para continência e função erétil.

Esses dados vão de encontro quando comparados com as PRAR realizadas por um cirurgião de alto volume. Uma série prospectiva de Patel e colaboradores (2010), com 1.100 pacientes consecutivos operados, mostrou taxas de 97,9% para continência urinária e de 96,6% para potência sexual aos 18 meses após a cirurgia, com 91,4% livres de recorrência bioquímica.¹⁵

Essas questões alertam sobre a importância de alinhar as expectativas da cirurgia com o paciente. Ademais, é reconhecido que estudos de centro único com grande volume apresentam melhores resultados, pois a recuperação funcional depende muito da habilidade do cirurgião e do seu volume de casos realizados.

Uma metanálise de cinco ensaios clínicos randomizados com 1.205 pacientes, comparou a

PRAR com a prostatectomia radical laparoscópica (PRL) e concluiu que não houve diferença na continência em doze meses (OR 1,95, IC 95% 0,67 – 5,62) ou nos desfechos oncológicos (taxa de margens positivas e recidiva bioquímica); no entanto, a PRAR apresentou melhores resultados funcionais, como recuperação da continência aos 3 meses (OR 1,81) e 6 meses (OR 1,88), além da recuperação da potência em pacientes previamente sem disfunção (OR 4,05, $p = 0,003$).¹⁶

Portanto, com base nas evidências disponíveis, a PRAR se consolida como uma alternativa avançada e eficaz ao tratamento do câncer de próstata localizado, oferecendo vantagens importantes em comparação às abordagens aberta e laparoscópica. Estudos indicam que, além da segurança oncológica comprovada, a PRAR possibilita benefícios como a preservação da potência e uma recuperação mais rápida da continência urinária nos primeiros meses após a cirurgia.

Câncer de Rim

A nefrectomia é o tratamento padrão-ouro com intuito curativo no carcinoma de células renais localizado. A melhor forma de tratar os tumores renais é realizar a nefrectomia parcial, em vez da nefrectomia radical, independentemente da abordagem cirúrgica, pois dessa forma, a função renal é preservada e, conseqüentemente, são minimizados os riscos de doença renal crônica e de doenças cardiovasculares. Por outro lado, ao tentar realizar a cirurgia poupadora de néfrons, aumentam os riscos de complicações urológicas e o desafio cirúrgico. Assim, a nefrectomia parcial é a técnica recomendada em pacientes com indicação cirúrgica e sempre que viável do ponto de vista técnico.¹⁷

A nefrectomia parcial robô assistida (NPRA) revolucionou a abordagem dos tumores renais por permitir a ressecção e/ou enucleação de lesões mais desafiadoras, como os tumores maiores ou hilares, assim como dissecação superseletiva dos vasos segmentares, proporcionando

menor sangramento e maior preservação do parênquima.¹⁷

Uma revisão sistemática conduzida por Grivas e colaboradores (2019) analisou 21 estudos comparando a NPRA e a nefrectomia parcial aberta (NPA). Em 11 desses estudos, a NPRA apresentou menores taxas de complicações e, em 6 deles, mostrou menor taxa de margens cirúrgicas. A NPA, por outro lado, teve tempos de isquemia fria e quente mais elevados em 13 e 10 estudos, respectivamente. Além disso, 17 estudos indicaram menor perda sanguínea na NPRA e 19 estudos apontaram que o tempo de internação hospitalar foi reduzido para esses pacientes.¹⁸

Da mesma forma, Leow e colaboradores (2016) realizaram uma revisão sistemática e metanálise abrangendo 4.919 pacientes de 25 estudos comparando a NPRA à nefrectomia parcial laparoscópica. Os resultados mostraram que pacientes submetidos à abordagem robótica tinham tumores maiores e mais complexos, uma menor taxa de conversão (RR 0,36, $p < 0,001$), além de um risco reduzido de complicações (RR 0,84, $p = 0,007$). Também se observou menor risco de margens positivas (RR 0,53, $p < 0,001$) e um tempo de isquemia quente em média 4,3 minutos mais curto ($p < 0,001$).¹⁹

Portanto, massas renais de maior complexidade, anteriormente tratadas apenas por cirurgia aberta, agora podem ser abordadas de forma minimamente invasiva com auxílio robótico, ampliando as possibilidades de tratamento e melhorando os resultados pós-operatórios. Além disso, mesmo na ausência de ensaios clínicos randomizados que favoreçam uma técnica sobre a outra, a assistência robótica tem se destacado por proporcionar maior precisão na excisão dos tumores renais e uma capacidade aprimorada de sutura do defeito cirúrgico, superando a abordagem laparoscópica.¹⁹

Câncer de Bexiga

A cistectomia radical (CR) é considerada o padrão-ouro para o tratamento do câncer de

bexiga musculoinvasivo e pode ser considerada no cenário não- musculoinvasivo de alto risco. Essa cirurgia oferece excelente controle local, mas é um procedimento complexo e com índice de morbidade bastante elevado mesmo em centros de referência.²⁰

A cistectomia radical robô assistida (CRRRA) tem sido amplamente debatido quanto às suas vantagens e resultados oncológicos. Embora existam poucos estudos retrospectivos de centro único com acompanhamento prolongado, os dados indicam que as taxas de sobrevida livre de doença (SLD) e sobrevida global (SG) em cinco anos variam de 58% a 67% e de 50% a 54%, respectivamente, para pacientes submetidos à CRRRA.¹¹

O ensaio clínico randomizado RAZOR forneceu evidências de que a CRRRA não é inferior à técnica aberta em termos de sobrevida livre de progressão e sobrevida global em três anos. Além disso, os pacientes que passaram pelo procedimento robótico apresentaram menor perda sanguínea, taxa reduzida de transfusão intraoperatória e um período de internação mais curto.²¹ Por outro lado, o estudo CORAL indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os procedimentos robótico, laparoscópico e aberto no que se refere à sobrevida livre de recorrência, sobrevida câncer-específica e sobrevida global em cinco anos.²²

Segundo a Associação Europeia de Urologia (EAU), em suas diretrizes para o câncer de bexiga musculoinvasivo de 2025, ambos os procedimentos, CRRRA e CRA, apresentam taxas semelhantes de complicações em 90 dias, bem como resultados equivalentes em margens cirúrgicas, desfechos oncológicos de médio prazo e qualidade de vida dos pacientes. O tempo cirúrgico da CRRRA tende a ser de 1 a 1,5 horas mais longo do que o da CRA, mas, em contrapartida, há menor perda sanguínea e uma possível redução no período de hospitalização.²³

Os benefícios da abordagem robótica estão amplamente relacionados à sua natureza minimamente invasiva. A CRRRA apresenta

vantagens importantes, notadamente no que diz respeito à recuperação pós-operatória, especialmente ao reduzir as complicações de parede abdominal, que são fortemente influenciadas pelas grandes incisões da cirurgia aberta convencional, e da possibilidade de realizar as derivações totalmente intracorpóreas. Apesar do maior tempo cirúrgico, a precisão da técnica robótica e seu impacto positivo na preservação dos tecidos, reforçam seu papel como uma alternativa promissora no tratamento do câncer de bexiga quando indicado.

Câncer Urotelial do Trato Urinário Superior

A nefroureterectomia (NU) é considerada o tratamento padrão para o carcinoma urotelial do trato urinário superior (CUTS) de alto risco, envolvendo a remoção do rim, do ureter e da porção intramural do ureter (cuff vesical).²⁴

Um dos principais desafios técnicos da nefroureterectomia robótica (NUR) é a necessidade de abordar diferentes regiões anatômicas, exigindo adaptações na técnica ao longo dos anos para otimizar o procedimento. Nas primeiras plataformas robóticas que existiam, era comum o reposicionamento do carrinho do paciente durante a cirurgia, o que demandava tempo cirúrgico significativamente maior. Com o avançar da tecnologia, tornando mais compacto o carrinho do paciente e aliado a instrumentos mais longos, possibilitou uma transição mais eficiente entre as diferentes regiões anatômicas. Esse avanço reduziu o impacto do choque entre os braços robóticos e permitiu a disposição dos trocartes em linha, facilitando a passagem da abordagem do rim para a bexiga.²⁵

A segurança e eficácia da NUR foram confirmadas por diversos estudos. Um levantamento retrospectivo em um único centro revelou taxas de sobrevida global de 86,9% e 62,6% em dois e cinco anos, respectivamente. A sobrevida câncer-específica (SCE) foi de 92,9% e 69,5%, enquanto a sobrevida livre de recorrência (SLR) apresentou resultados de

65,3% e 57,1% nos mesmos períodos.²⁶ A maior revisão sistemática e metanálise disponível, abrangendo aproximadamente 87.000 pacientes, comparou a NUR com outras abordagens e concluiu que a técnica robótica oferece resultados seguros e consistentes.²⁷ Esses achados reforçam a NUR como uma alternativa viável e eficiente, especialmente com os avanços tecnológicos que aprimoraram sua execução e minimizaram desafios intraoperatórios.

Portanto, a evolução dos sistemas robóticos, em especial com a introdução do da Vinci Xi, permitiu maior eficiência operatória e superação de limitações anatômicas previamente desafiadoras, contribuindo para a execução mais precisa e fluida no tratamento das neoplasias urológicas. A robustez dos dados disponíveis respalda a utilização crescente da técnica robótica como alternativa sólida às abordagens tradicionais, promovendo melhores condições intraoperatórias e potencialmente influenciando positivamente os desfechos clínicos a longo prazo.

Desafios da Cirurgia Robótica: Custos, Acesso e Aprendizado

Apesar da ampla expansão da cirurgia robótica nas últimas duas décadas, com estimativas apontando para a instalação de mais de 900 novas plataformas por ano em 2020, a tecnologia ainda enfrenta barreiras significativas para sua disseminação global.²⁸

O principal entrave permanece sendo o custo, mesmo com o aumento gradual da acessibilidade. Um estudo australiano estimou que a implementação de uma plataforma robótica no setor público exige um investimento médio de aproximadamente 1 milhão de dólares, além de um custo adicional por procedimento entre 3 a 5 mil dólares.²⁹

Essa limitação financeira reflete-se na distribuição desigual das plataformas robóticas, com predominância em países de alta renda – em 2020, cerca de 70% estavam localizadas nos EUA. Em contrapartida, nos países de baixa e média renda, os custos elevados permanecem

como a principal barreira, especialmente diante da perspectiva de incorporação da cirurgia robótica em sistemas públicos universais, como o Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil. A expectativa é que o surgimento de novos concorrentes no mercado estimule a competitividade e, consequentemente, a redução de custos.³⁰

O custo por procedimento é inversamente proporcional ao volume cirúrgico. Em centros de alto volume, o investimento inicial e os custos de manutenção são diluídos, promovendo maior eficiência financeira. Por outro lado, unidades de menor porte, como hospitais em pequenas cidades ou áreas rurais, enfrentam maior dificuldade de viabilizar economicamente a tecnologia, limitando sua expansão geográfica.³¹

Outros obstáculos relevantes incluem o número restrito de cirurgiões capacitados e o acesso limitado a programas de treinamento padronizados.³²

No que se refere à formação dos profissionais, há escassez de protocolos bem estabelecidos. A Seção de Cirurgia Robótica da Associação Europeia de Urologia (ERUS) propôs um modelo de treinamento baseado na metodologia PBP (*Proficiency-Based Progression*), com resultados promissores em termos de desempenho cirúrgico. Esse modelo contempla diversas etapas de simulação progressiva – desde cursos on-line e simuladores virtuais até práticas em modelos animais, cadáveres e consoles robóticos com proctoria supervisionada. Contudo, a implementação completa desse processo demanda considerável investimento e acesso a múltiplas ferramentas, como simuladores, consoles adicionais e insumos específicos. Essa complexidade logística e financeira impõe limitações importantes à capacitação de novos cirurgiões, sobretudo fora dos grandes centros acadêmicos.^{33,34}

Perspectivas Futuras

Robôs cirúrgicos são definidos como manipuladores controlados por computador,

equipados com sensores artificiais e programáveis para execução de tarefas cirúrgicas.³⁵ A Urologia, reconhecida historicamente pela rápida incorporação de inovações tecnológicas, não foi exceção no cenário da cirurgia robótica.

Os primeiros sistemas robóticos cirúrgicos foram classificados em duas categorias: *off-line* e *on-line* (mestre-escravo), sendo este último associado ao conceito de telepresença, desenvolvido a partir da colaboração entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e o Stanford Research Institute (SRI).³⁶

Desde a introdução clínica do robô da Vinci no início dos anos 2000, diversas plataformas evoluíram, especialmente a partir de 2019. A Urologia, notadamente com a prostatectomia radical assistida por robô, tem liderado a adoção e o refinamento dessas tecnologias.³⁷

A chegada do da Vinci 5, a mais recente geração desenvolvida pela *Intuitive Surgical Inc.*, trouxe avanços importantes, com destaque para a ergonomia aprimorada – incluindo ajustes de altura e ângulo de visão –, reduzindo a fadiga muscular do cirurgião. Houve também melhorias no sistema de controle, mais leve e responsivo, além de uma interface digital mais integrada e intuitiva.^{37,38} Essas inovações visam otimizar a experiência do cirurgião, permitindo ajustes operatórios sem a necessidade de afastar o olhar do console, o que potencialmente contribui para a redução do tempo cirúrgico.

Outro avanço de grande impacto foi a introdução do *feedback* háptico integrado, um marco na cirurgia robótica. Essa tecnologia permite que o cirurgião perceba forças de tração e compressão durante a manipulação tecidual, algo que até então não era possível, e que pode reduzir complicações decorrentes de manipulação excessiva, aumentando a segurança e a precisão dos procedimentos.³⁹

A telecirurgia, por sua vez, tem se consolidado como uma fronteira promissora dentro da Urologia robótica, conceito que remonta aos primórdios da cirurgia assistida por robôs.⁴⁰ Com a evolução da telemedicina, recursos

como a comunicação audiovisual avançada, telestração e sobreposição de imagens passaram a possibilitar a orientação remota eficaz de procedimentos, especialmente em centros especializados localizados em regiões de difícil acesso.⁵⁰ Embora a realização de telecirurgias em humanos ainda enfrente limitações – como a latência na transmissão de dados e questões de segurança –, o advento da tecnologia 5G tem contribuído para mitigar esses desafios.⁴¹

A latência ideal para procedimentos seguros permanece controversa, sendo recomendados valores abaixo de 200 milissegundos para minimizar erros e atrasos nas tarefas cirúrgicas.³² Revisões recentes sugerem que, até o momento, todos os procedimentos urológicos realizados via telecirurgia foram considerados seguros e viáveis.⁴³

Ainda assim, a prática da telecirurgia impõe desafios éticos e legais significativos, como a necessidade de protocolos rigorosos para o consentimento informado, a preservação da autonomia do paciente e a garantia de suporte local para eventuais emergências cirúrgicas. O risco de desumanização e a possível falta de assistência local qualificada em caso de necessidade de conversão para cirurgia aberta são preocupações legítimas.⁴⁰

A regulamentação da telecirurgia, como exemplificado pela resolução do Conselho Federal de Medicina no Brasil, reflete o avanço institucional necessário para conferir maior segurança jurídica à prática e mitigar os riscos associados.⁴⁴

Finalmente, o que podemos esperar do futuro da cirurgia robótica? Total integração entre conectividade global, feedbacks sensoriais extremamente fidedignos e incorporação irrevogável da inteligência artificial.

Conclusão

A cirurgia robótica se consolidou como uma das maiores inovações da cirurgia minimamente invasiva, especialmente na Urologia, em que teve

papel pioneiro em sua adoção e desenvolvimento. Seus benefícios são amplamente documentados na literatura, destacando-se maior precisão, melhor ergonomia, menor morbidade e recuperação funcional acelerada em comparação às técnicas aberta e laparoscópica, tanto no tratamento de doenças oncológicas quanto benignas.

No entanto, desafios persistem, sobretudo relacionados aos elevados custos de aquisição, manutenção e operação, à concentração de plataformas em grandes centros e às limitações no acesso a treinamentos padronizados. Apesar desses entraves, as perspectivas são promissoras.

O surgimento de novas plataformas, o aumento da competitividade no mercado, os avanços na formação de profissionais e na incorporação de tecnologias como inteligência artificial e telecirurgia apontam para uma trajetória de expansão, democratização e consolidação definitiva da cirurgia robótica na prática urológica. Diante desse cenário, espera-se que a robótica continue a transformar positivamente os desfechos cirúrgicos e a qualidade de vida dos pacientes, contribuindo para o avanço contínuo da Urologia e da cirurgia minimamente invasiva.

Referências

1. Morrell, A. G. L. et al. Evolução e história da cirurgia robótica: da ilusão à realidade. *Rev. Col. Bras. Cir.* 48, 2021. <https://doi.org/10.1590/0100-6991e-20202798>.
2. Wang, Y. Current and Future Robotic Surgery Platforms. *Laparoscopic, Endoscopic and Robotic Surgery* 3 (2020) 26e28. <https://doi.org/10.1016/j.lers.2019.12.0012468-9009>.
3. Intuitive Announces FDA Clearance of Fifth-Generation Robotic System, da Vinci 5. Intuitive Surgical, Inc. [Internet]]. Acessado em: 2025, junho. Disponível em: <https://isrg.intuitive.com/news-releases/news-release-details/intuitive-announces-fda-clearance-fifth-generation-robotic>.
4. Intuitive Surgical, Inc. [Internet]]. Acessado em: 2025, junho. Disponível em: <https://www.intuitive.com/en-us>.
5. Ricciardi R, Seshadri-Kreaden U, Yankovsky A, Dahl D, Auchincloss H, Patel NM, Hebert AE, Wright V. The COMPARE Study: Comparing Perioperative Outcomes of Oncologic Minimally Invasive Laparoscopic, da Vinci Robotic, and Open

- Procedures: A Systematic Review and Meta-analysis of the Evidence. *Ann Surg.* 2025 May 1;281(5):748-763. doi: 10.1097/SLA.0000000000006572. Epub 2024 Oct 22.
6. Ng AT, Tam PC. Current status of robot-assisted surgery. *Hong Kong Med J.* 2014 Jun;20(3):241-50. doi: 10.12809/hkmj134167. Epub 2014 May 23.
 7. Gettman MT, Neururer R, Bartsch G, Peschel R. Anderson-Hynes dismembered pyeloplasty performed using the da Vinci robotic system. *Urology.* 2002 Sep;60(3):509-13. doi: 10.1016/s0090-4295(02)01761-2.
 8. Osman NI, Mangir N, Mironska E, Chapple CR. Robotic Surgery as Applied to Functional and Reconstructive Urology. *Eur Urol Focus.* 2019 May;5(3):322-328. doi: 10.1016/j.euf.2019.06.016. Epub 2019 Jul 5.
 9. Sotelo R, Clavijo R, Carmona O, Garcia A, Banda E, Miranda M, Fagin R. Robotic simple prostatectomy. *J Urol.* 2008 Feb;179(2):513-5. doi: 10.1016/j.juro.2007.09.065.
 10. Culp MB, Soerjomataram I, Efsthathiou JA, Bray F, Jemal A. Recent Global Patterns in Prostate Cancer Incidence and Mortality Rates. *Eur Urol.* 2020 Jan;77(1):38-52. doi: 10.1016/j.eururo.2019.08.005.
 11. Falagario U, Veccia A, Weprin S, Albuquerque EV, Nahas WC, Carrieri G, Pansadoro V, Hampton LJ, Porpiglia F, Autorino R. Robotic-assisted surgery for the treatment of urologic cancers: recent advances. *Expert Rev Med Devices.* 2020 Jun;17(6):579-590. doi: 10.1080/17434440.2020.1762487. Epub 2020 May 13.
 12. Wang Y, Gieschen H, Greenberger M, Yu X, Tian G, VanderWalde N, Stockstill T, Farmer M, Rinker L, Izaguirre EW, Somer B, Ballo MT. Survival After Robotic-assisted Prostatectomy for Localized Prostate Cancer: An Epidemiologic Study. *Ann Surg.* 2021 Dec 1;274(6):e507-e514. doi: 10.1097/SLA.0000000000003637.
 13. Nyberg M, Hugosson J, Wiklund P, et al. Functional and Oncologic Outcomes Between Open and Robotic Radical Prostatectomy at 24-month Follow-up in the Swedish LAPPRO Trial. *Eur Urol Oncol.* 2018 Oct;1(5):353-360.
 14. Haglind E, Carlsson S, Stranne J, Wallerstedt A, Wilderäng U, Thorsteinsdottir T, Lagerkvist M, Damber JE, Bjartell A, Hugosson J, Wiklund P, Steineck G; LAPPRO steering committee. Urinary Incontinence and Erectile Dysfunction After Robotic Versus Open Radical Prostatectomy: A Prospective, Controlled, Nonrandomised Trial. *Eur Urol.* 2015 Aug;68(2):216-25. doi: 10.1016/j.eururo.2015.02.029. Epub 2015 Mar 12.
 15. Patel VR, Coelho RF, Chauhan S, Orvieto MA, Palmer KJ, Rocco B, Sivaraman A, Coughlin G. Continence, potency and oncological outcomes after robotic-assisted radical prostatectomy: early trifecta results of a high-volume surgeon. *BJU Int.* 2010 Sep;106(5):696-702. doi: 10.1111/j.1464-410X.2010.09541.x. Epub 2010 Aug 12.
 16. Haney CM, Kowalewski KF, Westhoff N, Holze S, Checcuci E, Neuberger M, Haapiainen H, Egen L, Antti K, Porpiglia F, Stolzenburg JU. Robot-assisted Versus Conventional Laparoscopic Radical Prostatectomy: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomised Controlled Trials. *Eur Urol Focus.* 2023 Nov;9(6):930-937. doi: 10.1016/j.euf.2023.05.007. Epub 2023 Jun 21.
 17. Bex A, Ghanem YA, Albiges L, Bonn S, Campi R, Capitanio U, Dabestani S, Hora M, Klatte T, Kuusk T, Lund L, Marconi L, Palumbo C, Pignot G, Powles T, Schouten N, Tran M, Volpe A, Bedke J. European Association of Urology Guidelines on Renal Cell Carcinoma: The 2025 Update. *Eur Urol.* 2025 Jun;87(6):683-696. doi: 10.1016/j.eururo.2025.02.020. Epub 2025 Mar 20.
 18. Grivas N, Kalampokis N, Larcher A, Tyritzis S, Rha KH, Ficarra V, Buffi N, Ploumidis A, Autorino R, Porpiglia F, van der Poel H, Motttrie A, de Naeyer G; J-ERUS/YAU Robotic Urology Working Group. Robot-assisted *versus* open partial nephrectomy: comparison of outcomes. A systematic review. *Minerva Urol Nefrol.* 2019 Apr;71(2):113-120. doi: 10.23736/S0393 2249.19.03391-5.
 19. Leow JJ, Heah NH, Chang SL, Chong YL, Png KS. Outcomes of Robotic versus Laparoscopic Partial Nephrectomy: an Updated Meta-Analysis of 4,919 Patients. *J Urol.* 2016 Nov;196(5):1371-1377. doi: 10.1016/j.juro.2016.06.011. Epub 2016 Jun 10.
 20. NCCN. Bladder Cancer (Version 4.2019) 2019 [cited 2019 November 1, 2019]. Acessado em: 2025, junho. Disponível em: <https://www.nccn.org/>.
 21. Venkatramani V, Reis IM, Castle EP, et al. Predictors of Recurrence, and Progression-Free and Overall Survival following Open versus Robotic Radical Cystectomy: Analysis from the RAZOR Trial with a 3-Year Followup. *J Urol.* 2020 Mar;203(3):522-529. doi: 10.1097/JU.0000000000000565. Epub 2019 Sep 24.
 22. Khan MS, Gan C, Ahmed K, Ismail AF, Watkins J, Summers JA, Peacock JL, Rimington P, Dasgupta P. A Single-centre Early Phase Randomised Controlled Three-arm Trial of Open, Robotic, and Laparoscopic Radical Cystectomy (CORAL). *Eur Urol.* 2016 Apr;69(4):613-621. doi: 10.1016/j.eururo.2015.07.038. Epub 2015 Aug 10.
 23. van der Heijden AG, Bruins HM, Carrion A, Cathomas R, Compérat E, Dimitropoulos K, Efsthathiou JA, Fietkau R, Kailavasan M, Lorch A, Martini A,

- Mertens LS, Meijer RP, Mariappan P, Milowsky MI, Neuzillet Y, Panebianco V, Sæbjørnsen S, Smith EJ, Thalmann GN, Rink M. European Association of Urology Guidelines on Muscle-invasive and Metastatic Bladder Cancer: Summary of the 2025 Guidelines. *Eur Urol.* 2025 May;87(5):582-600. doi: 10.1016/j.eururo.2025.02.019. Epub 2025 Mar 20.
24. Masson-Lecomte A, Birtle A, Pradere B, Capoun O, Compérat E, Domínguez-Escrig JL, Liedberg F, Makaroff L, Mariappan P, Moschini M, Rai BP, van Rhijn BWG, Shariat SF, Smith EJ, Teoh JYC, Soukup V, Wood R, Xylinas EN, Soria F, Seisen T, Gontero P. European Association of Urology Guidelines on Upper Urinary Tract Urothelial Carcinoma: Summary of the 2025 Update. *Eur Urol.* 2025 Jun;87(6):697-716. doi: 10.1016/j.eururo.2025.02.023. Epub 2025 Mar 20.
 25. Argun OB, Mourmouris P, Tufek I, Tuna MB, Keskin S, Obek C, Kural AR. Radical Nephroureterectomy Without Patient or Port Repositioning Using the Da Vinci Xi Robotic System: Initial Experience. *Urology.* 2016 Jun;92:136-9. doi: 10.1016/j.urology.2016.02.047. Epub 2016 Mar 9.
 26. Aboumohamed AA, Krane LS, Hemal AK. Oncologic Outcomes Following Robot-Assisted Laparoscopic Nephroureterectomy with Bladder Cuff Excision for Upper Tract Urothelial Carcinoma. *J Urol.* 2015 Dec;194(6):1561-6.
 27. Vecchia A, Antonelli A, Francavilla S, Simeone C, Guruli G, Zargar H, Perdoná S, Ferro M, Carrieri G, Hampton LJ, Porpiglia F, Autorino R. Robotic versus other nephroureterectomy techniques: a systematic review and meta-analysis of over 87,000 cases. *World J Urol.* 2020 Apr;38(4):845-852. doi: 10.1007/s00345-019-03020-1. Epub 2019 Nov 26.
 28. Childers CP, Maggard-Gibbons M. Trends in the use of robotic-assisted surgery during the COVID 19 pandemic. *Br J Surg.* 2021 Oct 23;108(10):e330-e331. doi: 10.1093/bjs/znab231.
 29. McBride, K., Steffens, D., Stanislaus, C. et al. Detailed cost of robotic-assisted surgery in the Australian public health sector: from implementation to a multi-specialty caseload. *BMC Health Serv Res* 21, 108 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12913-021-06105-z>.
 30. Mehta A, Cheng Ng J, Andrew Awuah W, Huang H, Kalmanovich J, Agrawal A, Abdul-Rahman T, Hasan MM, Sikora V, Isik A. Embracing robotic surgery in low- and middle-income countries: Potential benefits, challenges, and scope in the future. *Ann Med Surg (Lond).* 2022 Nov 1;84:104803. doi: 10.1016/j.amsu.2022.104803.
 31. Feldstein J, Schwander B, Roberts M, Coussons H. Cost of ownership assessment for a da Vinci robot based on US real-world data. *Int J Med Robot.* 2019 Oct;15(5):e2023. doi: 10.1002/rcs.2023. Epub 2019 Jul 15.
 32. Xu S, Perez M, Yang K, Perrenot C, Felblinger J, Hubert J. Determination of the latency effects on surgical performance and the acceptable latency levels in telesurgery using the dV-Trainer® simulator. *Surg Endosc.* 2014 Sep;28(9):2569-76. doi: 10.1007/s00464-014-3504-z. Epub 2014 Mar 27.
 33. Mazzone E, Puliatti S, Amato M, Bunting B, Rocco B, Montorsi F, Mottrie A, Gallagher AG. A Systematic Review and Meta-analysis on the Impact of Proficiency-based Progression Simulation Training on Performance Outcomes. *Ann Surg.* 2021 Aug 1;274(2):281-289. doi: 10.1097/SLA.0000000000004650.
 34. Ticonosco M, Pissavini A, Collà Ruvolo C, Frego N, Belmonte M, Barletta F, Morra S, Rebuffo S, Sorce G, Marin F, Campobasso D, Gallagher AG, Ferretti S, Bianchi L, Schiavina R, Puliatti S, Micali S, Mottrie A. From simulation to surgery, advancements and challenges in robotic training for radical prostatectomy: a narrative review. *Chin Clin Oncol.* 2024 Aug;13(4):55. doi: 10.21037/cco-24-14.
 35. Dasgupta P, Jones A, Gill IS. Robotic urological surgery: a perspective. *BJU Int.* 2005 Jan;95(1):20-3. doi: 10.1111/j.1464-410X.2005.05241.x.
 36. Hill JW, Holst PA, Jensen JF, Goldman J, Gorfu Y, Ploeger DW. Telepresence interface with applications to microsurgery and surgical simulation. *Stud Health Technol Inform.* 1998;50:96-102.
 37. Covas Moschovas M, Saikali S, Gamal A, Reddy S, Rogers T, Chiara Sighinolfi M, Rocco B, Patel V. First Impressions of the New da Vinci 5 Robotic Platform and Experience in Performing Robot-assisted Radical Prostatectomy. *Eur Urol Open Sci.* 2024 Sep 12;69:1-4. doi: 10.1016/j.euro.2024.08.014.
 38. Patel V, Saikali S, Moschovas MC, Patel E, Satava R, Dasgupta P, et al. Technical and ethical considerations in telesurgery. *J Robot Surg.* 2024;18:40-40. doi: 10.1007/s11701-023-01797-3.
 39. Rae-Dupree J. Feel the Precision: Next-Gen Robotic Surgery With Haptic Feedback. *IEEE Pulse.* 2025 Jan-Feb;16(1):12-15. doi: 10.1109/MPULS.2025.3526484.
 40. Veneziano D, Tafuri A, Rivas JG, Dourado A, Okhunov Z, Somani BK, Marino N, Fuchs G, Cacciamani G; ESUT-YAUWP Group. Is remote live urologic surgery a reality? Evidences from a systematic review of the literature. *World J Urol.* 2020 Oct;38(10):2367-2376. doi: 10.1007/s00345-019-02996-0. Epub 2019 Nov 7.
 41. Shin DH, Dalag L, Azhar RA, Santomauro M, Satkunasivam R, Metcalfe C, et al. A novel interface

- for the telementoring of robotic surgery. *BJU Int.* 2015;116(2):302–308. doi: 10.1111/bju.12985.
42. Barba P, Stramiello J, Funk EK, Richter F, Yip MC, Orosco RK. Remote telesurgery in humans: a systematic review. *Surg Endosc.* 2022 May;36(5):2771-2777. doi: 10.1007/s00464-022-09074-4. Epub 2022 Mar 4.
43. Ferreira SV, Sugai MH, Nascimento GC, Souza AC Netto, Cabrini GC, Rodrigues FM, D'Avila CLR, Souza GF, Zerati RV, Zerati M Filho. Feasibility