

Evolução e história da cirurgia robótica: da ilusão à realidade

The history of robotic surgery and its evolution: when illusion becomes reality

ANDRE LUIZ GIOIA MORRELL¹⁻⁶ ; ALEXANDER CHARLES MORRELL-JUNIOR¹⁻⁵; ALLAN GIOIA MORRELL¹⁻⁵; JOSE MAURICIO FREITAS MENDES, ACBC-SP^{2-4,6}; FRANCISCO TUSTUMI, TCBC-RJ¹; LUIZ GUSTAVO DE-OLIVEIRA-E-SILVA, TCBC-RJ⁷; ALEXANDER MORRELL, TCBC-SP¹⁻⁶.

R E S U M O

O termo “robô” foi concebido no início do século passado, derivado originalmente da palavra tcheca “robotá”, que significa “trabalho”. Mais recentemente, a tecnologia de computação associada à robótica, baseada no conceito de telepresença e realidade virtual, têm sido aplicadas aos procedimentos cirúrgicos. A aplicação de robôs em cirurgia data de aproximadamente 35 anos, experimentando um crescimento significativo nas últimas duas décadas impulsionado pelo advento de novas tecnologias e seus resultados. Apesar de seu status breve comparado à longevidade da história da cirurgia, a tecnologia robótica já provou seus potenciais benefícios com visualização aprimorada, destreza superior e maior precisão durante procedimentos minimamente invasivos. Atualmente, a plataforma robótica mundialmente difundida e predominantemente usada em cirurgia é o modelo Da Vinci da empresa Intuitive Surgical, e a evolução desse novo conceito de cirurgia está longe de terminar, com inúmeros competidores potenciais no horizonte impulsionando a quebra de paradigmas. Nosso objetivo nesta revisão é descrever a história e evolução da cirurgia robótica nos últimos anos, bem como apresentar suas perspectivas futuras.

Palavras chave: Robótica. Procedimentos Cirúrgicos Robóticos. Telecirurgia. Exoesqueleto Energizado. Realidade Virtual. História da Medicina. Tecnologia.

INTRODUÇÃO

Embora o termo e a existência de “robôs” sejam relativamente novos, a ideia de máquinas operando autonomamente pode ser datada por séculos. O termo “robô” foi concebido por Joseph Capek, em 1921, em sua peça *Rossum’s Universal Robots*, que originalmente veio da palavra tcheca “robotá”, que significa “trabalho”. O termo foi rapidamente corrompido para refletir uma tarefa repetitiva orientada para a máquina. Assistência computacional, robótica, automação e realidade virtual são conceitos bastante novos e, mais recentemente, têm sido aplicados na assistência à saúde. As últimas décadas testemunharam crescimento exponencial da tecnologia médica, um dos eventos mais marcantes sendo a plataforma robótica aplicada à cirurgia. Robôs têm sido usados no mundo cirúrgico por mais de 30 anos, e tornaram-se novo padrão de atendimento, gerando resultados interessantes. O objetivo deste artigo foi descrever a história, evolução, estado atual e perspectivas da cirurgia robótica.

HISTÓRICO

A ideia de criar uma máquina automática capaz de realizar algumas tarefas normalmente realizadas por mãos humanas é bastante antiga. Em relação às aplicações cirúrgicas, o conceito inicial começou há mais de 60 anos, no campo militar. Durante combates militares, são frequentes os ambientes hostis, de acesso difícil e às vezes indesejável, com conseqüente falta de assistência adequada à saúde. Não raro, a área com os recursos e mão de obra mais limitados é o local mais próximo onde ocorrem as lesões. Choque hemorrágico e politrauma são as causas primárias de morte em combate e, portanto, havia necessidade imediata para os militares de fornecer cuidados cirúrgicos especializados após grandes traumas, baseados em cirurgia de controle de danos¹. Mudando o “paradigma da Hora de Ouro”, em vez de transferir o soldado acidentado para o hospital mais próximo, o novo conceito foi trazer a sala de cirurgia para a unidade de apoio mais próxima, permitindo intervenção mais rápida, no conceito de abordagem “Minuto de Ouro”. Outro

1 - Instituto Morrell, Cirurgia do Aparelho Digestivo Robótica e Minimamente Invasiva - São Paulo - SP - Brasil 2 - Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein, Cirurgia Geral e do Aparelho Digestivo Minimamente Invasiva e Robótica - São Paulo - SP - Brasil 3 - Rede D’Or São Luiz, Cirurgia do Aparelho Digestivo Robótica e Minimamente Invasiva - São Paulo - SP - Brasil 4 - Hospital Vila Nova Star, Cirurgia do Aparelho Digestivo Robótica e Minimamente Invasiva - São Paulo - SP - Brasil 5 - Grupo Leforte, Cirurgia do Aparelho Digestivo, Bariátrica e Metabólica Robótica - São Paulo - SP - Brasil 6 - Hospital Alemão Oswaldo Cruz, Departamento de Cirurgia - São Paulo - SP - Brasil 7 - Hospital Federal de Ipanema, Cirurgia Geral - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

cenário importante que contribuiu para a robótica e o desenvolvimento do conceito de telepresença foi a corrida espacial. Em 1957, um míssil balístico intercontinental Soviético R-7 lançou o Sputnik (“viajante” em russo), o primeiro satélite artificial do mundo e o primeiro objeto feito pelo homem a ser colocado na órbita da Terra. Um ano depois, os Estados Unidos lançaram seu próprio satélite e criaram a National Aeronautics and Space Administration (NASA), agência federal dedicada à exploração espacial. Não diferente da zona de guerra, o espaço é o cenário mais óbvio onde a presença humana exige enormes esforços. A necessidade de telemanipulação de instrumentos resultou em engajamento público nacional e privado para o desenvolvimento tecnológico na área. O pioneiro da realidade virtual, Scott Fisher, desenvolveu a primeira tela acoplada à cabeça, que imergia o espectador em ambiente tridimensional (3D) virtual, enquanto o engenheiro Phil Green desenvolveu sistema de telemanipulação robótica para microcirurgia pelo Instituto de Pesquisa de Stanford (SRI). Ambas as ideias de telepresença e telemanipulação robotizada foram essenciais para garantir o conceito de telecirurgia.

A Era Robótica

A primeira plataforma robô empregada em humanos foi utilizada em 1985 para realizar biópsias neurocirúrgicas, denominada Programmable Universal Machine for Assembly (PUMA) 200². Além disso, a máquina foi adaptada e usada para procedimentos urológicos e de próstata comuns pelo The Robotics Center, no Imperial College³. Em 1992, um sistema guiado por imagem chamado Robodoc® Surgical System foi desenvolvido para o uso em cirurgia de prótese total do quadril⁴. Permitindo ao cirurgião otimizar o tamanho da prótese de forma específica para cada paciente, o Robodoc é atualmente o único sistema robótico ativo autorizado pela Food and Drug Administration (FDA) para o uso em cirurgia ortopédica.

Na década de 90 do século passado, impulsionada pelos esforços dos cientistas, ocorreu mudança de paradigma no cenário robótico, adaptando o conceito mestre-servo (masterslave), que representava o controle remoto dos movimentos robóticos por estação de trabalho distante. Financiado em 1990 por Yulun Wang, endossado pela Defense Advanced Research

Projects Agency (DARPA) e provavelmente incentivado pela apresentação de Jacques Périsat, em 1989, na conferência anual SAGES em Atlanta, a empresa chamada Computed Motion inicialmente desenvolveu um braço robótico controlado por voz equipado com endoscópio chamado AESOP® (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning).

O primeiro modelo de braço robótico aprovado em 1994 para uso, o AESOP 1000 era controlado por pedais. A próxima geração, o AESOP 2000, projetado dois anos depois, substituiu os pedais por sistema de controle de voz, permitindo ao cirurgião o controle do endoscópio, proporcionando a “terceira mão” (Figura 1). Ao obedecer à voz, o AESOP 2000 eliminou a necessidade de um auxiliar para segurar o endoscópio. A plataforma evoluiu para o AESOP 3000®, aumentando os graus de liberdade, e teve a plataforma final com o AESOP HR (HERMES Ready), tendo controle de voz integrado e funções como sala cirúrgica, iluminação e movimento da mesa de operação. Quando idealizado, o AESOP robótico foi projetado para melhorar a estabilidade da imagem e reduzir o pessoal médico necessário na sala de cirurgia, mostrando inúmeras vantagens documentadas sobre a tradicional câmera de suporte humano, especialmente substituindo a necessidade de cirurgião assistente, que pode ficar fatigado durante longos procedimentos⁵. Porém, os procedimentos cirúrgicos exigiram não apenas a telemanipulação da câmera de vídeo, mas também os movimentos dos cirurgiões.



Figura 1. AESOP (sistema endoscópico automatizado para posicionamento ideal).

Como resultado, a Computer Motion, em 1998, apresentou o sistema Zeus, com braços e instrumentos cirúrgicos controlados pelo cirurgião, introduzindo o próprio conceito de telepresença, em que o cirurgião (mestre) comanda o servo (robô). O robô ZEUS consistia em três braços, cada um independentemente preso a uma mesa cirúrgica, tendo um braço AESOP controlando o endoscópio e dois outros braços cirúrgicos com quatro graus de liberdade (Figura 2). O console do cirurgião consistia em um monitor de vídeo e duas manoplas, que são capazes de manipular os instrumentos, proporcionando interface melhorada e tela bidimensional. A plataforma robótica ZEUS foi usada pela primeira vez em 1998, na Cleveland Clinic, para cirurgia de anastomose da tuba uterina⁶. Um ano depois, um enxerto de coração da artéria coronária foi realizado no Canadá. Em 2001, um grande passo na cirurgia robótica ocorreu no que foi chamado de a Operação Lindberg. Em alusão a Charles Lindberg, o aviador americano que realizou o primeiro voo transatlântico solo, a Operação Lindberg consistiu em cirurgia robótica realizada com o robô ZEUS e um sistema de telecolaboração SOCRATES, que permitia ao cirurgião utilizar estação remota de operação para controlar o braço robótico localizado do outro lado do Atlântico. O procedimento foi uma colecistectomia realizada por Jacques Marescaux, em Nova York, em paciente situado em Estrasburgo, França⁷. A cirurgia teve duração de 54 minutos e não teve incidentes técnicos ou percepção de distância.



Figura 2. O robô ZEUS consistia em três braços.

Anos antes, em 1995, Frederick H. Moll e Robert Younge fundaram a Intuitive Surgical na Califórnia, retrabalhando o sistema de telepresença cirúrgica desenvolvido por Phil Green da SRI, desenvolvendo o primeiro protótipo cirúrgico robótico da Intuitive: Lenny, abreviatura de Leonardo. A estação do Lenny consistia em três braços robóticos separados que se prendiam à mesa de operação, em que dois eram os braços para instrumentos e o terceiro braço segurava o endoscópio⁸. A segunda geração do Intuitive foi Mona, em 1997, sendo o primeiro sistema cirúrgico robótico a ser usado em testes com humanos. O primeiro procedimento de Mona foi uma colecistectomia, realizada em 1997 por Jacques Himpen, cirurgião bariátrico do Saint-Blasium General Hospital, em Dendermonde, Bélgica⁹. Outros procedimentos foram realizados, tais como fístulas arteriovenosas e colocação de banda gástrica^{10,11}. Em 1998, a Intuitive trouxe para o uso humano o primeiro sistema do que seria a plataforma de cirurgia robótica de maior sucesso até agora: Da Vinci. Os procedimentos foram diversos, incluindo retirada toracoscópica da mama interna, plastia valvar mitral, colecistectomias e funduplicatura a Nissen⁸. A primeira venda comercial do Da Vinci foi para o Centro Cardíaco de Leipzig, na Alemanha, no final de 1998 e, com a ajuda desse, os cirurgiões foram capazes de realizar o reparo de válvula cardíaca e cirurgia de revascularização do miocárdio, que foram significativamente menos invasivos do que a esternotomia padrão¹². Em 2000, o Da Vinci obteve a aprovação do FDA para procedimentos laparoscópicos gerais e se tornou o primeiro robô cirúrgico operatório nos Estados Unidos (EUA).

Em 2003, após batalha judicial de três anos, a Computer Motion se fundiu com a Intuitive Surgical em uma única empresa, interrompendo o desenvolvimento do sistema ZEUS. Ambas as empresas combinaram os esforços, tendo muitos elementos integrados com projetos posteriores na produção de tecnologia mais eficaz.

A era Da Vinci

Apesar de os 20 anos de existência da Intuitive Surgical Inc, a plataforma atual Da Vinci representa cerca de 35 anos de esforços combinados e tecnologia em favor da cirurgia robótica. Durante a evolução, alguns pontos-chave têm sido interessantes para reforçar a

atual hegemonia e divulgação mundial. Incentivado pelo conceito de cirurgia de telepresença criado por Phil Green, Richard Satava e o Stanford Research Institute (SRI), o projeto governamental DARPA resultou em protótipo de robô montado em veículo blindado que poderia “virtualmente” levar o cirurgião às linhas de frente¹³. O modelo do veículo era o Medical Forward Area Surgical Team (MEDFAST), que poderia ser conduzido diretamente para a frente de batalha, enquanto o console do cirurgião seria protegido em Hospital Cirúrgico Avançado Móvel (Mobile Advanced Surgical Hospital – MASH), operando a distância segura do campo de batalha. Por meio desta tecnologia, o primeiro procedimento telecirúrgico remoto realizando anastomose intestinal em porcino ex-vivo foi um marco para inspirar Frederick H. Moll a criar a Intuitive Surgical e impulsionar o conceito de telepresença.

Em comparação com a plataforma ZEUS, o sistema da próxima geração da Intuitive, Da Vinci, melhorou significativamente em relação aos protótipos anteriores. O sistema robótico era composto por três componentes, sendo o exoesqueleto robótico do paciente, o console do cirurgião e o sistema de imagem. Todos os braços robóticos se originavam de um único exoesqueleto robótico do paciente, o que dispensou a necessidade de montar cada braço na mesa de operação e resolveu problemas com o posicionamento da mesa. Com sete graus de liberdade e dois graus de rotação axial, os instrumentos cirúrgicos imitam o pulso humano. O console do cirurgião, com sistema de imagens, trouxe para o robô Da Vinci uma maneira totalmente inovadora de conectar o cirurgião com o visualizador estereoscópico, tendo como marca registrada a visualização binocular. Ao invés de tela de vídeo, o visualizador foi colocado no console do cirurgião, onde os dois olhos foram acomodados, permitindo maior foco e concentração, reduzindo a fadiga durante a cirurgia. Com o uso de novo endoscópio 3D, com dois endoscópios de 5mm dentro do telescópio de 12mm, a imagem foi projetada em duas telas sincronizadas, criando visualização verdadeiramente 3D, sem a necessidade do uso de óculos específicos. O primeiro robô Da Vinci, aprovado pelo FDA em 2000, era composto por três braços, com endoscópio acoplado a um, e dois instrumentos. Dois anos depois, em 2002, prevendo a necessidade e o valor de instrumento extra na área cirúrgica, versão robótica de quatro braços foi

aprovada para uso clínico. Esse braço daria a possibilidade de controlar e melhorar a exposição das estruturas anatômicas e reduzir a dependência do cirurgião auxiliar. No console, dois controles comandados pelo cirurgião eram precisamente conectadas aos braços, transmitindo os movimentos do “mestre” aos braços robóticos. Os tremores nas mãos foram eliminados e calibragem que reduz os movimentos de 1:1 a 5:1 permitiu a delicadeza de acordo com a necessidade do cirurgião. Além disso, o console tinha, na porção inferior, uma unidade de pedal para permitir diferentes usos de energia, como monopolar ou bipolar.

Não totalmente satisfeita com o primeiro protótipo, a Intuitive Surgical introduziu, em 2006, a plataforma Da Vinci S, oferecendo visão de câmera 3D de alta definição (HD), com configuração simplificada e tela de toque interativa (Figura 3). Três anos mais tarde, em 2009, foi lançado o modelo Da Vinci Si, tornando-se o que poderia ser uma das plataformas mais difundidas mundialmente desde a criação (Figura 4). A nova plataforma Si ofereceu o conceito de cirurgia de console duplo, otimizando o potencial do cirurgião no intra-operatório, bem como introduzindo forma reprodutível e supervisionada de simulação e treinamento para cirurgiões não especialistas. Além disso, o robô Si teve melhoria do sistema de imagem, graças à incorporação do software Tile-Pro, e permitiu imagens de fluorescência em tempo real com a tecnologia Firefly, desempenhando papel importante para a consolidação na cirurgia minimamente invasiva. Ainda em 2011, foram desenvolvidos ajustes da plataforma e instrumentos específicos para permitir o acesso por portal único, superando as limitações laparoscópicas.



Figura 3. Modelo do Robô Da Vinci S, lançado em 2006.



Figura 4. Modelo de terceira geração do Da Vinci: modelo Si.

O sistema mais eficiente criado pela Intuitive Surgical até agora é a plataforma Da Vinci Xi (Figuras 5 e 6). O lançamento ocorreu em 2014, entrando no mercado como o mais avançado em instrumentação, visão, desenho de exoesqueleto, além de movimentação da mesa e automação de setup (Figuras 5 e 6). Olhando pela perspectiva diferente, o modelo mais recente da Xi reinventou o desenho do exoesqueleto robótico do paciente assim como a versatilidade e flexibilidade. Embora impressionante, a plataforma Si e respectivas atualizações não eram isentas de limitações. Os braços robóticos na estação do paciente eram grandes, o que os tornava difíceis de trabalhar e levava a colisões externas frequentes. Além disso, o exoesqueleto robótico foi baseado em coluna grande e vertical, com braços paralelos entre si. O endoscópio robótico de 12mm possuía braço especificamente desenhado, que permitia o engate devido ao sistema de engate e diâmetro diferentes, maior que as portas de 8mm onde os instrumentos eram inseridos. Outra limitação sobre a plataforma Si estava relacionada com a cirurgia multiquadrante e o acoplamento. Sempre

que necessárias abordagens em diferentes quadrantes no mesmo procedimento, os braços robóticos tinham que ser desencaixados, o robô do paciente movida e reajustada para o novo quadrante desejado e novamente acoplada, aumentando o tempo cirúrgico, prolongando a anestesia e o tempo de sala operatória. O modelo multiportas mais avançado Da Vinci Xi superou a maioria das limitações da estação do paciente e dos braços do protótipo anterior, além de apresentar novas tecnologias, atualizando ainda mais a cirurgia robótica.



Figura 5. Robô cirúrgico da Intuitive Surgical de quarta geração, sistema Da Vinci Xi.



Figura 6. Console Da Vinci e interatividade do cirurgião, com visualização binocular, instrumentos e pedais.

O robô de quarta geração da Intuitive Surgical, o sistema Da Vinci Xi, possui um exoesqueleto robótico de paciente com desenho totalmente novo, para garantir máxima mobilidade e flexibilidade durante a cirurgia. A arquitetura montada em lança fornece encaixe de qualquer ângulo e melhora o acesso ao redor do paciente em qualquer quadrante. Ao direcionar o campo cirúrgico e o posicionamento do endoscópio para a área desejada, os braços robóticos são dispostos na configuração ótima. Os braços redesenhados fornecem maior amplitude de movimento interno, melhorando o acesso do paciente e minimizando as colisões externas. Enquanto as gerações anteriores de robôs Da Vinci exigiam que braços externos fossem amplamente afastados para maximizar o campo de trabalho, o oposto é verdadeiro para o Xi. As articulações flexíveis são compactas, deixando distância de um punho de largura entre cada braço, e que pode ser otimizada por ajustes que podem ser feitos nas articulações de cada braço do robô. A nova plataforma dispõe de sistema de fixação de aleta única, tornando o encaixe mais fácil e rápido. Vários ajustes ergonômicos fornecem conforto e reduzem a fadiga durante procedimentos cirúrgicos e os movimentos da mão do cirurgião são dimensionados, filtrados e perfeitamente traduzidos nas pontas do instrumento para controle preciso.

A tecnologia de visualização representou grande passo na nova plataforma, garantindo visão 3D-HD estável, imersiva e altamente ampliada do campo cirúrgico, enquanto fornece ao cirurgião o controle autônomo e independente de um endoscópio de 8mm. Em comparação com o endoscópio avantajado dos sistemas anteriores, o novo desenho de 8mm é mais longo e oferece ao cirurgião visão mais clara do campo cirúrgico, com imagem mais objetiva e resolução mais alta. Diferente da terceira geração, o endoscópio Xi 30° pode ser invertido a partir do console do cirurgião sem que o assistente tenha que removê-lo e reinstalá-lo. Além disso, não há mais necessidade de cobertura, ajuste de foco, equilíbrio de branco ou calibragem durante a operação. Por ter quatro braços robóticos idênticos e independentes, a cirurgia multiportal é alcançada, permitindo que os instrumentos e o endoscópio sejam versáteis e reposicionados a qualquer momento em qualquer porta, se necessário. Além disso, a tecnologia de imagem de fluorescência FireFly® é integrada para melhorar etapas específicas de tomada de

decisão em tempo real durante a cirurgia, como perfusão de tecido ou visualização do ducto biliar. Com relação ao posicionamento do paciente e à mobilidade da estação do paciente, o recurso de movimento integrado da mesa (ITM) também é uma nova tecnologia disponível, que permite que o paciente seja posicionado dinamicamente enquanto a cirurgia está em andamento. Este artifício pode ser realizado sem a remoção dos instrumentos ou desencaixe dos portais, pois em procedimentos multiquadrantes, a gravidade pode proporcionar exposição ideal da cavidade abdominal.

Outra atualização importante no novo sistema Xi está relacionada aos instrumentos, energia e grampeamento. Acessórios de primeira entrada, como portais robóticos, foram reprojatados em cânula de aço inoxidável totalmente reutilizável, com ponta sem lâmina ou sem corte, detendo cone de Hasson e obturador óptico. Os instrumentos da tecnologia Endowrist também foram aprimorados, permitindo a sucção e irrigação robótica ou aplicação de cliques. Os dispositivos de energia Da Vinci tiveram desempenho aumentado, com maior eficiência, sem sacrificar resultados com velocidade, precisão e versatilidade. Uma segunda geração de instrumento bipolar, o Vessel Sealer Extend, garante ao cirurgião a vedação e o corte de vasos de até 7mm de diâmetro. O grampeamento robótico foi aprimorado, com controle completo, articulação total e feedback inteligente da profundidade do tecido, fornecendo monitoramento constante e feedback em tempo real. Já disponível no modelo Si, a tecnologia de portal único também tem sido melhorada, com instrumentos de curvas internas e design triangular, e braços externos separados, maximizando a amplitude de movimento e minimizando colisões com a estação menos corpulenta. Além disso, um porta-agulha com articulação em punho permite aos cirurgiões destreza adicional durante a sutura, o que não estava disponível no protótipo anterior.

A atual era robótica já mostrou enorme impacto sobre o campo cirúrgico, e é parte de evolução natural e lógica da cirurgia minimamente invasiva. A cirurgia robótico-assistida está se espalhando rapidamente e tem superado limitações intrínsecas da laparoscopia. Alta definição, visão estereoscópica tridimensional e ampliação, câmera estável e guiada pelo cirurgião, ergonomia aprimorada, amplitude superior de movimento

e de escala são vantagens notáveis¹⁴. Dados recentes têm relacionado os benefícios na cirurgia visceral, urológica e colorretal^{15,16}. Quanto a reparos de hérnias ventrais, resultados encorajadores foram descritos, permitindo reconstruções da parede abdominal ainda mais complexas em abordagem minimamente invasiva com a plataforma robótica¹⁷. O campo ginecológico também tem visto benefícios da cirurgia robótico-assistida, que parece facilitar a abordagem cirúrgica em casos selecionados de câncer de colo de útero, endométrio e ovário, bem como de endometriose^{18,19}. Atualmente, a maioria dos problemas enfrentados pelos procedimentos assistidos por robótica estão especialmente relacionados aos custos e maior tempo operatório. Semelhante a qualquer inovação ou desenvolvimento de tecnologia anterior, inicialmente considerada inacessível, é possível que análise mais aprofundada relate bom custo-benefício.

Uma nova era?

A evolução e o futuro da tecnologia robótica são provavelmente baseados na melhoria de hardware e softwares. A cirurgia assistida por robô é atualmente usada em todas as disciplinas cirúrgicas. Tecnologia que busca menor tamanho de instrumentos e estações, acoplamento mais fácil e rápido, troca automática de instrumentos, tecnologia de feedback de tecidos, integração com imagens radiológicas e inteligência artificial estão em perspectiva. Nos últimos 20 anos, o robô mais utilizado na cirurgia assistida por robótica foi o Da Vinci da Intuitive Surgical. Em 2020, existem mais de 5.700 unidades Da Vinci em todo o mundo – nos Estados Unidos, Europa, Ásia e no resto do mundo²⁰. Presumivelmente, em breve esses desenvolvimentos serão impulsionados e acelerados por mercado competitivo para fabricantes. Recentemente, a Intuitive Surgical lançou o novo modelo de robô, a plataforma Da Vinci Single-Port (SP). Em 2018, o sistema SP foi aprovado pelo FDA para uso em pacientes urológicos e, desde então, vários relatos de casos foram descritos, alcançando abordagens bem-sucedidas para procedimentos urológicos complexos, incluindo prostatectomia, nefrectomia do doador e cistectomia^{21,22}.

Nos últimos anos, poucas empresas têm tentado desenvolver sistemas robóticos para desafiar

a hegemonia do Da Vinci, embora ainda não sejam competitivos. A Titan Medical desenvolveu sistema de tecnologia robótica de orifício de porta única (SPORT) com instrumentos multiarticulados, endoscópio flexível e estação de paciente adicionada a estação de trabalho em conceito mestre-servo. Em 2018, uma variedade de procedimentos abdominais foi concluída com segurança com o protótipo SPORT no cenário pré-clínico, mostrando a viabilidade²³. Outra empresa, Transenterix, desenvolveu modelo robótico chamado Surgibot; teve a aprovação pelo FDA negada em 2016 e, em pouco tempo, em 2017, concordou em vender os ativos para a empresa de investimento MedTech chinesa Great Belief International, por US\$ 29 milhões. Atualmente, a tecnologia mais recente da Transenterix é a plataforma Senhance, interface digital entre robótica e laparoscopia, com controle de câmera de rastreamento ocular e detecção háptica em arquitetura de plataforma aberta diferente, com três braços em estações diferentes e console aberto. A Aurishealth, parte da Johnson & Johnson (J&J) Medical Devices Companies, introduziu recentemente a plataforma Monarch™, integrando os últimos avanços em endoscopia robótica e broncoscopia. Uma empresa do Reino Unido, Cambridge Medical Robotics (CMR), em 2014, criou e lançou o sistema robótico Versius®, aprovado para uso em toda a Europa, embora não aprovada para venda nos Estados Unidos (EUA). A tecnologia Versius também é baseada em robô de procedimento multiportal, tendo não apenas uma estação de paciente, mas quatro, em conceito mais flexível. A REVO-I, plataforma cirúrgica da Meere Company, da Coreia do Sul, entrou no mercado em 2017 após a aprovação da FDA coreana, com protótipo muito semelhante ao Da Vinci Si, buscando modelo mais econômico. Esse consiste em console de controle do cirurgião, estação de operação robótica com quatro braços, estação de visão HD e instrumentos endoscópicos reutilizáveis. Há cinco anos, a Verb Surgical foi fundada depois que o Google e a J&J anunciaram joint venture para o desenvolvimento de sistema robótico cirúrgico, ainda em andamento.

CONCLUSÃO

A cirurgia robótica é tecnologia em rápida

evolução e tem história muito interessante. A Intuitive Surgical é o principal protagonista, mas apesar da hegemonia e dominação, a evolução da cirurgia robótica está longe de terminar, com vários potenciais concorrentes no horizonte expandindo os limites da tecnologia ideal. Nesta revisão, o objetivo foi descrever

a evolução dos sistemas cirúrgicos robóticos nos últimos anos. A interface superior dos cirurgiões com os robôs não será alcançada apenas com novas ferramentas, mas pela integração da inteligência artificial e nova forma de interpretar a cirurgia moderna, uma mudança de paradigma que vale a pena ser seguida.

ABSTRACT

The term "robot" was conceived in the beginning of last century, coming originally from the Czech word "robota", meaning "labor". More recently, computer assistance and robotics based in the telepresence and virtual reality concept have been applied to surgical procedures. The application of robots in surgery dates approximately 35 years, experiencing significant growth in the last two decades fueled by the advent of advanced technologies. Despite its recent and brief status in surgery history, robotic technology has already proven its enhanced visualization, superior dexterity and precision during minimally invasive procedures. Currently, the worldwide diffused and predominant robot system used in surgery is Da Vinci by Intuitive Surgical, however robotic surgery evolution is far from over, with multiple potential competitors on the horizon pushing forward its paradigms. We aim to describe the history and evolution of robotic surgery in the last years as well as present its future perspectives.

Keywords: Robotics. Robotic Surgical Procedures. Telesurgery. Exoskeleton Device. Virtual Reality. History of Medicine. Tecnology.

REFERÊNCIAS

- Zajtchuk R, Rellamy RF, Grande CM, editors. Anesthesia and perioperative care of the combat casualty. Part IV - surgical combat casualty care. Textbook of Military Medicine. Washington, DC: Office of the Surgeon General; 1995.
- Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988;35(2):153-60.
- Davies BL, Hibberd RD, Ng WS, Timoney AG, Wickham JE. The development of a surgeon robot for prostatectomies. *Proc Inst Mech Eng H.* 1991;205(1):35-8.
- Paul HA, Bargar WL, Mittlestadt B, Musits B, Taylor RH, Kazanzides P, et al. Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(285):57-66.
- Kavoussi LR, Moore RG, Adams JB, Partin AW. Comparison of robotic versus human laparoscopic camera control. *J Urol.* 1995;154(6):2134-6.
- Falcone T, Goldberg J, Garcia-Ruiz A, Margossian H, Stevens L. Full robotic assistance for laparoscopic tubal anastomosis: a case report. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 1999;9(1):107-13.
- Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature.* 2001;413(6854):379-80.
- DiMaio S, Hanuschik M, Kreaden U. The da Vinci Surgical System. In: Rosen J, Hannaford B, Satava RM, editors. *Surgical Robotics: Systems Applications and Visions.* Boston, MA: Springer; 2011. p. 199-217.
- Himpens J, Leman G, Cadiere G. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc.* 1998;12(8):1091.
- Himpens J. Surgery in space: the future of robotic telesurgery (Haidegger T, Szandor J, Benyo Z. *Surg Endosc.* 2011;25(3):681-690). *Surg Endosc.* 2012;26(1):286.
- Cadiere GB, Himpens J, Vertruyen M, Favretti F. The world's first obesity surgery performed by a surgeon at a distance. *Obes Surg.* 1999;9(2):206-9.
- Salisbury JK Jr. The heart of microsurgery. *Mech Eng.* 1998;120(12):46-51.
- Parekattil SJ, Moran ME. Robotic instrumentation: evolution and microsurgical applications. *Indian J Urol.* 2010;26(3):395-403.
- Damle A, Damle RN, Flahive JM, Schlüssel AT, Davids JS, Sturrock PR, et al. Diffusion of technology: Trends in robotic-assisted colorectal surgery. *Am J Surg.* 2017;214(5):820-4.

15. Bonet X, Ogaya-Pinies G, Woodlief T, Hernandez-Cardona E, Ganapathi H, Rogers T, et al. Nerve-sparing in salvage robot-assisted prostatectomy: surgical technique, oncological and functional outcomes at a single high-volume institution. *BJU Int.* 2018;122(5):837-44.
16. Zhu XL, Yan PJ, Yao L, Liu R, Wu DW, Du BB, et al. Comparison of short-term outcomes between robotic-assisted and laparoscopic surgery in colorectal cancer. *Surg Innov.* 2019;26(1):57-65.
17. Morrell ALG, Morrell AC, Cavazzola LT, Pereira GSS, Mendes JM, Abdalla RZ, et al. Robotic assisted eTEP ventral hernia repair: Brazilian early experience. *Hernia.* 2020. doi:10.1007/s10029-020-02233-3. Online ahead of print.
18. Yim GW, Kim YT. Robotic surgery in gynecologic cancer. *Curr Opin Obstet Gynecol.* 2012;24(1):14-23.
19. Morrell ALG, Ribeiro GMPAR, Santos TP, Morrell AC, Chamie LP, Frare N, et al. Robotic Natural Orifice Specimen Extraction with Totally Intracorporeal Anastomosis Associated with Firefly Fluorescence: Bowel Resection for Deep Infiltrating Endometriosis. *J Gynecol Surg.* 2020; 36(3):128-35.
20. Intuitive.com [Internet]. California: da Vinci Products FAQ; [cited 2020 jul 22]. Available from: <https://isrg.intuitive.com>
21. LaMattina JC, Alvarez-Casas J, Lu I, Powell JM, Sultan S, Phelan MW, et al. Robotic-assisted single-port donor nephrectomy using the da Vinci single-site platform. *J Surg Res.* 2018;222:34-8.
22. Gaboardi F, Pini G, Suardi N et al. Robotic laparoendoscopic single-site radical prostatectomy (R-LESS-RP) with daVinci Single-Site® platform. Concept and evolution of the technique following an IDEAL phase 1. *J Robot Surg.* 2019; 13(2):215-26.
23. Seeliger B, Diana M, Ruurda JP, Konstantinidis KM, Marescaux J, Swanström LL. Enabling single-site laparoscopy: the SPORT platform. *Surg Endosc.* 2019;33(11):3696-703

Recebido em: 23/08/2020

Aceito para publicação em: 06/10/2020

Conflito de interesses: não.

Fonte de financiamento: nenhuma.

Endereço para correspondência:

Andre Luiz Gioia Morrell

E-mail: andremorrell@gmail.com

