Revista da
SOCESP
Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo

REVISÃO/REVIEW

DESENVOLVENDO UM NOVO PARADIGMA NA CARDIOLOGIA INTERVENCIONISTA: PROGRAMA EINSTEIN DE ANGIOPLASTIA CORONÁRIA ROBÓTICA

DEVELOPING A NEW PARADIGM IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY: EINSTEIN ROBOTIC CORONARY ANGIOPLASTY PROGRAM

Carlos Augusto Homem de Magalhães Campos[1,2]
Marcelo Franken[1]
Adriano Mendes Caixeta[1,3]
Breno Oliveira Almeida[1]
Jose Mariani Jr.[1,2]
Pedro Alves Lemos[1,2]

1. Departamento de Cardiologia Intervencionista, Instituto do Coração, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da USP, São Paulo, SP, Brasil
2. Departamento de Cardiologia Intervencionista, Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, SP, Brasil
3. Departamento de Cardiologia Intervencionista, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Correspondência:
Pedro A. Lemos. Departamento de Cardiologia Intervencionista, Hospital Israelita Albert Einstein, Av. Albert Einstein, 627/701, Morumbi, São Paulo, SP, Brasil. CEP 05652- 900, pedro.lemos@einstein.br

Recebido em 22/10/2019,
Aceito em 27/11/2019

RESUMO

Cardiologistas intervencionistas são expostos a riscos ocupacionais, que incluem a ocorrência de catarata, malignidades e lesões ortopédicas. A intervenção coronária percutânea (ICP) assistida por robô pode reduzir esses riscos ocupacionais, além de oferecer grande precisão e controle fino da manipulação de dispositivos médicos, podendo conferir benefícios ao paciente. O objetivo desta revisão é descrever as vantagens e as limitações da ICP assistida por robótica, os dados clínicos mais recentes e as futuras aplicações da tecnologia robótica.

Descritores: Riscos Ocupacionais; Intervenção Coronária Percutânea; Tecnologia, Robótica

ABSTRACT

Interventional cardiologists are exposed to occupational hazards, including cataract, malignancies and orthopedic injuries. Robot-assisted percutaneous coronary intervention (PCI) can reduce these occupational hazards and offer great precision and fine-grained control over the handling of medical devices, potentially benefitting the patients. The aim of this review is to describe the advantages and limitations of robot-assisted PCI, the latest clinical data and future applications of robotic technology.

Keywords: *Occupational Risks; Percuteneous Coronary Intercentions; Tecnology; Robotics.*

INTRODUÇÃO

Desde o advento da intervenção coronária percutânea (ICP) com a primeira angioplastia com balão realizada por Gruntzig e cols.,[1] houve uma infinidade de avanços neste campo. Desde o desenvolvimento de cateteres dedicados, surgimento dos *stents* farmacológicos, melhorias na farmacoterapia periprocedimento, dispositivos de aterectomia até o aprimoramento de fios-guia e métodos de imagem intracoronária. Estes avanços levaram a adoção da ICP como o método de revascularização arterial coronária mais utilizado em todo o mundo. Apesar de décadas de evolução, no entanto, alguns componentes fundamentais do procedimento de ICP permanecem praticamente inalterados.

Para a realização da intervenção, é mandatória a presença física de um ou mais operadores ao pé da mesa, expostos a significativa dose de radiação durante a execução manual do procedimento. O uso de aventais de liga metálicas, proteção ocular, vestuário para a cabeça e para a região pélvica se faz obrigatório. Entretanto, tais equipamentos permitem apenas proteção parcial contra a exposição a radiação. Além disso, seu uso implica na necessidade de se adicionar vários quilogramas à vestimenta. Nesse contexto, evidências crescente descortinam os riscos ocupacionais dos cardiologistas intervencionistas, relacionados não somente à exposição à radiação (p.e. risco de catarata, de malignidades) como também a lesões ortopédicas.[2-4]

Desde 1985, sistemas robóticos vêm sendo desenvolvidos para remover o intervencionista da sala de procedimento. O presente artigo de revisão descreve os benefícios e as limitações da ICP assistida por robótica, os dados clínicos mais recentes e as futuras aplicações à medida que a tecnologia robótica se desenvolve.

DESENVOLVIMENTO INICIAL DA INTERVENÇÃO CORONÁRIA PERCUTÂNEA ASSISTIDA POR ROBÓTICA (R-ICP)

A robótica está disponível na medicina cardiovascular desde o início dos anos 2000. Desde a sua introdução houve um tremendo impacto na melhoria do atendimento ao paciente. A robótica é utilizada para auxiliar na cirurgia, em procedimentos que incluem fechamento minimamente invasivo dos defeitos do septo atrial, reparo da válvula mitral,

enxertos de revascularização do miocárdio e, mais recentemente, em procedimentos de eletrofisiologia.[5-8]

Inicialmente a R-ICP utilizou um sistema de navegação remota chamado RNS (NaviCath, Haifa, Israel), que se constituía em um *drive* motorizado montado em uma mesa conectado a um módulo do operador controlado por *joystick*. Neste primeiro equipamento, havia um motor e navegadores para encaixe de fios e dispositivos descartáveis. A unidade de controle do operador, localizada longe da mesa de procedimento, compreendia um console de controle computadorizado com tela sensível ao toque e um *joystick*. O sistema controlava o fio para movimentos axiais (avanço / retração) e rotacionais. Também controlava um dispositivo (balão/*stent)* para movimentos ao longo do eixo axial. Neste sistema de R-ICP, o intervencionista não tinha qualquer controle sobre o cateter. Também não era possível utilização de mais de um fio guia, não permitindo o tratamento de lesões com maior grau de complexidade como lesões em bifurcações coronárias.[9]

Posteriormente, foi desenvolvido o sistema robótico CorPath (*Corindus Vascular Robotics, Waltham, MA,* EUA) para R-ICP. Este sistema incorporou diversos refinamentos técnicos e já foi testado em diferentes cenários clínicos. Nesta R-ICP o médico consegue manipular até dois fios guias, com controle milimétrico de avanço/retração bem como os movimentos de rotação. A mesma precisão é também observada nos movimentos de dispositivos (balão/*stent*) ao longo do eixo axial. Este sistema permitia também uma pequena manipulação do cateter-guia.

O Sistema robótico CorPath GRX, aprovado pelo FDA para uso rotineiro nos Estados Unidos da América em 2016, permite ao operador manipular o cateter-guia, corda-guia 0,014" e um balão ou *stent*, independentemente. Cateter-guia e corda-guia podem ser avançados ou retraídos ativamente, bem como podem-se executar rotações no sentido horário e anti-horário, todos com possibilidade de movimentos simultâneos. Os dois componentes principais são um braço robótico montado na lateral da mesa de cateterismo e uma mesa de controle intervencionista com proteção blindada contra radiação. (Figura 1) O braço robótico contém uma plataforma de acionamento que abriga um cassete estéril de uso único. O cassete é conectado ao cateter guia após a cateterização seletiva da artéria coronária. Quando ligado, o cassete permite a conexão, através de ranhuras, de até dois fios-guia de 0,014" e um balão ou cateter *stent* coronários. (Figura 1) O braço é eletronicamente conectado via cabo à cabine de comando intervencionista, atrás do qual o operador se senta e controla 3 *joysticks*: 1 para girar, avançar e retrair o cateter-guia; 1 para avançar e retrair os dispositivos terapêuticos e 1 para girar, avançar e retrair o fio-guia. (Figura 2)

O PROCEDIMENTO DE INTERVENÇÃO CORONÁRIA PERCUTÂNEA ASSISTIDA POR ROBÓTICA (R-ICP)

Nas intervenções robóticas, a obtenção do acesso arterial e colocação de introdutor valvulado deve ser realizada de maneira manual usual. Isso pode ser realizado pelo operador primário ou por um operador secundário treinado. O acesso pode ser tanto radial quanto femoral, à direita ou à esquerda. Estas vias de acesso já foram comparadas e não foram observadas diferenças em relação aos resultados do procedimento.[10]

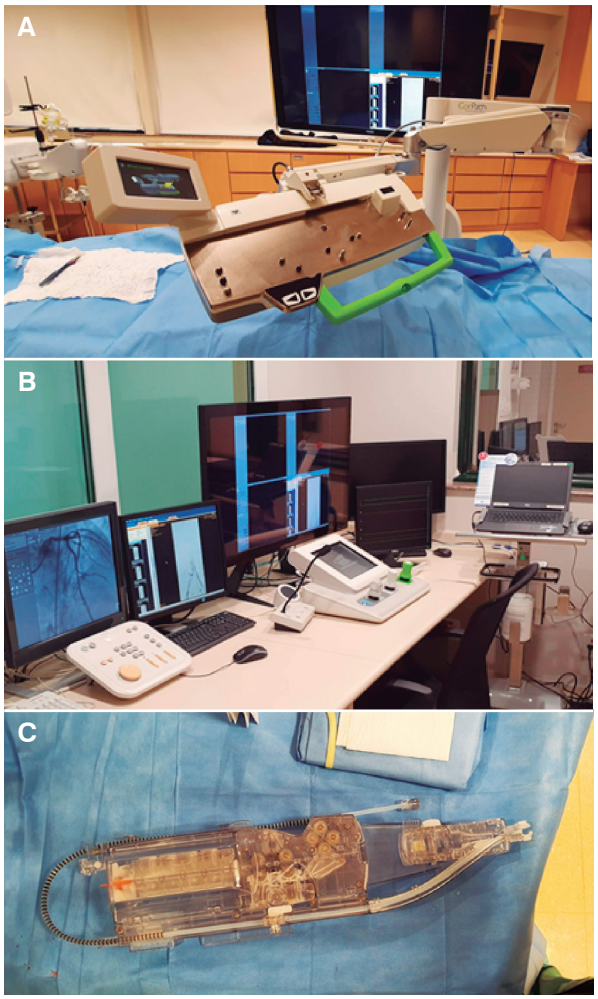

Figura 1. Sistema robótico CorPath. O CorPath GRX (mostrado) apresenta 2 componentes principais: (A) um braço robótico montado no trilho lateral da mesa de cateterismo e (B) um *cockpit* intervencionista blindado contra radiação com console de controle. O braço robótico contém uma plataforma de acionamento que abriga um cassete estéril (C) de uso único.

Figura 2. Controles do sistema robótico CorPath GRX. *Joysticks* que controlam o dispositivos terapeuticos (balão/stents), fio guia de 0,014 polegadas e cateter-guia. Estes podem ser empurrados para cima para avançar e puxados para baixo para retrair respectivos dispositivos. Os *joysticks* do fio-guia e do cateter-guia podem ser girados no sentido horário ou anti-horário para fornecer controle de torque do dispositivo. Além disso uma tela sensível ao toque permite avanços/recuos e giros com precisão milimétrica e a cada grau de angulação.

Um cateter guia é então usado para canular seletivamente a artéria coronária de interesse, de maneira manual habitual. O cateter guia é então conectado a uma válvula hemostática e então conectado ao cassete do sistema CorPath GRX. Este permite o controle do cateter pelo operador robótico. O fio guia de 0,014" e os dispositivos terapêuticos (balão/*stent*) são colocados no cateter guia normalmente e depois carregados independentemente ao cassete, permitindo o controle de cada componente individualmente pelo operador robótico.

Um procedimento R-ICP utiliza os mesmos materiais intervencionistas utilizados em procedimentos manuais (cateteres, balões, cordas-guia, *stents*). Após o fio-guia e o dispositivo terapêutico (balão/*stent*) serem carregados no cateter guia e conectados ao cassete robótico, o operador principal pode deixar a mesa e se sentar na cabine de controle CorPath GRX. O fio-guia é então avançado através do cateter guia e na artéria coronária, empurrando o *joystick* de controle do fio guia. Caso o fio precise de retração, isso pode ser feito puxando o *joystick* para baixo. O fio também pode ser direcionado durante o avanço e a retração, girando o *joystick* na direção correspondente. Dessa maneira, o fio é navegado com segurança pela anatomia coronária, através da lesão alvo e posicionado distalmente dentro do vaso. Uma tela sensível ao toque permite o avançar do fio milímetro a milímetro como também uma rotação grau a grau. Diante de dificuldade de avanço do fio guia, o sistema robótico CorPath GRX possui uma ferramenta (também aprovada pelo FDA) chamada de *Rotate on Retract*. Este *software* permite que uma rotação automática do fio seja realizada pela plataforma robótica durante a retração do fio. O *software* usa inteligência artificial nesta rotação, agindo independentemente do operador para facilitar a passagem do fio durante o avanço subsequente. O operador, no entanto, mantém controle do procedimento e ainda é capaz de girar o fio-guia conforme necessário, usando o *joystick* da cabine de controle.

Os dispositivos terapêuticos (balão/*stent*) também podem ser avançados/retraídos, de forma análoga, com a manipulação do *joystick*. A tela sensível ao toque também permite posicionamento milimétrico destes dispositivos. Depois do balão posicionado sobre a lesão alvo de interesse, um assis*tent*e de mesa pode inflar manualmente. A remoção do balão é realizada pressionando o *joystick* para baixo, com remoção rápida sendo realizada pressionando simultaneamente o botão turbo. Durante todo o procedimento o operador consegue avaliar pressão invasiva e eletrocardiograma de forma habitual, em uma tela posicionada na cabine de controle do robô. Os outros dispositivos utilizados para guiar ou auxiliar a R-ICP possuem compatibilidade variável; com o sistema CorPath GRX. A tabela 1 demonstra a compatibilidade destes dispositivos com o sistema robótico.

MENSURAÇÃO ROBÓTICA DO COMPRIMENTO DA LESÃO

O *software* do sistema CorPath GRX permite medir com precisão o comprimento da lesão através do robô. Isso é realizado avançando o marcador distal do balão para a borda distal da lesão. O contador de posição do balão na tela sensível ao toque da cabine é então zerado. Com retração do balão até a borda proximal da lesão, o contador do balão informará a distância percorrida pelo balão como uma estimativa do comprimento da lesão. Esta técnica pressupõe uma capacidade de resposta de movimento do sistema de 1:1. A mesma técnica pode ser realizada usando o fio-guia de angioplastia.

A plataforma robótica foi estudada em várias séries prospectivas e ensaios clínicos. A primeira série de R-ICP em humanos foi publicada em 2011, demonstrando a segurança do sistema CorPath 200.[11] A seguir, a segurança e eficácia do sistema CorPath 200 para R-ICP foi avaliada no estudo PRECISE (*Percutaneous Robotically-Enhanced Coronary Intervention*).[12] Neste estudo multicêntrico, prospectivo de braço único, 164 indivíduos foram submetidos à R-ICP em lesões coronárias de baixa complexidade (87,2% foram lesões tipo A). Sucesso clínico foi definido como a conclusão da intervenção planejada com menos de 30% de estenose residual e a ausência de um evento cardíaco adverso importante. O sucesso técnico foi definido como uma retração e avanço intracoronário bem-sucedido dos dispositivos R-ICP pelo sistema robótico sem conversão para uma abordagem manual. No PRECISE, a taxa de sucesso clínico foi 97,6% e a taxa de sucesso técnico foi de 98,8%, demonstrando que, principalmente nas lesões simples, a R-ICP era um meio seguro e eficaz de intervenção.

Subsequentemente, o estudo CORAPCI (*Complex Robotically Assisted Percutaneous Coronary Intervention*)[13] registrou todos os pacientes submetidos à ICP, seja com o robô (plataforma CorPath 200) ou de maneira manual habitual, durante um período de 18 meses. Um total de 103 indivíduos foram submetidos a 108 procedimentos R-ICP e comparados com 210 indivíduos submetidos a 226 intervenções manuais. Usando a definição anterior, o sucesso clínico imediato foi de 99,1%, com R-PCI e PCI manual. Sucesso técnico foi definido

Tabela 1. Compatibilidade do Sistema Robótico CorPath GRX com dispositivos intervencionistas comumente usados.

Dispositivos Totalmente Compatíveis	Dispositivos Parcialmente Compatíveis*	Dispositivos Incompatíveis**
Fio guia coronário 0,014"	Ultrassom intravascular não rotacional, como Eagle Eye (Vulcano, San Diego, CA, EUA)	Qualquer cateter *over-the-wire*, como microcateter de oclusão total crônica ou de aterectomia rotacional
Balão de angioplastia ou *stents*	Cateter de aterectomia a laser	Ultrassom intravascular rotacional como o Opticross ou Revolution (Vulcano, San Diego, CA, EUA)
Um fio guia 0,014" secundário para tratamento de ramo lateral em lesões de bifurcação	Extensores de cateter de guia	Cateter para retirada de dispositivos de proteção embólica distal
	Fios de filtro de proteção embólica distal	

*Podem ser utilizados com precaução. **Podem ser utilizados durante um procedimento de intervenção coronária robótica mas necessitam ser operados manualmente (pode ser realizado pelo operador secundário).

como conclusão do procedimento roboticamente ou com assistência manual parcial, livre da ocorrência de eventos cardíacos adversos maiores. Isso foi alcançado em 91,5% da coorte R-ICP, que compreendia lesões principalmente complexas (78,3% lesões tipo B2 / C). Além disso, 92,6% dos casos foram concluídos inteiramente por robótica ou com assistência manual parcial. Aos 12 meses, a ocorrência de óbito por todas as causas, acidente vascular cerebral, infarto do miocárdio ou revascularização do vaso alvo entre o grupo de R-ICP e os da coorte manual foram semelhantes (R-ICP 7,8% *vs*. Manual 8,1%, P = 0,92).[14]

Um estudo recente foi o primeiro a usar o sistema robótico de nova geração CorPath GRX.[10] Ficaram demonstradas a segurança e a eficácia em humanos da nova plataforma em lesões coronárias complexas (77,3% tipo B2 / C). A taxa de sucesso clínico (97,5%) foi semelhante ao sistema de primeira geração. No entanto, nesses casos, 90% foram concluídos totalmente por robótica, o que demonstrou uma melhoria em relação ao sistema de primeira geração, graças a expansão dos recursos do sistema CorPath GRX.[11]

Dados adicionais decorrentes desses estudos demonstraram uma redução significativa na exposição à radiação do operador com o sistema robótico quando comparado com a ICP manual. No estudo PRECISE, houve uma redução de 95,2% na exposição à radiação ao operador graças ao sistema robótico.[12] O estudo CORA-PCI constatou que, mesmo em lesões complexas, o tempo total de fluoroscopia e as doses da radiação para o paciente não foram mais elevadas se o médico realizou a R-ICP ou utilizou a intervenção manual.[13] O tempo total do procedimento, no entanto foi maior na coorte de pacientes com R-ICP. No entanto o tempo mais prolongado ocorreu exclusivamente em lesões mais simples, enquanto que lesões de complexidade moderada/elevada tiveram mesmo tempo de duração entre R-ICP e ICP manual.[13] O volume de utilização de contraste também foi o mesmo nos dois grupos.

O Hospital Israelita Albert Einstein foi o primeiro centro do hemisfério sul a realizar um procedimento de R-ICP. Este Centro coordena o estudo *Robotic-Assisted Percutaneous Coronary Intervention - A Safety and Effectiveness Study Applied to the Brazilian Public Health System (ClinicalTrials.gov Identifier: NCT03927560).* No momento da confecção do presente manuscrito 28 pacientes haviam sido tratados por R-ICP no Brasil no Hospital Israelita Albert Einstein.

RISCOS OCUPACIONAIS DA ICP TRADICIONAL E BENEFÍCIOS DA ICP ASSISTIDA POR ROBÓTICA

Os cardiologistas intervencionistas acumulam considerável radiação ionizante ao longo da vida (de 50 a 200 mSv). Esta dose é equivalente a 2.500 a 10.000 radiografias de tórax.[2,15,16] Embora alguns efeitos da radiação sejam cumulativos e ocorram apenas quando um certo limiar de exposição é ultrapassado, outros efeitos podem ocorrer com qualquer nível de exposição à radiação. Portanto, não existe realmente um nível "seguro" de exposição à radiação. Diversos estudos demonstraram aumento do risco de ocorrência de catarata entre cardiologistas intervencionistas.[3,17,18] Um estudo que examinou 54 cardiologistas intervencionistas presentes em um congresso, demonstrou opacidades detectáveis no cristalino em 50% dos médicos[17] em comparação com 10% em um grupo controle de profissionais não médicos da mesma idade. Além disso, cardiologistas intervencionistas desenvolvem danos no DNA e anormalidades cromossômicas em uma taxa muito maior do que os cardiologistas clínicos.[19,20] Um estudo que avaliou uma coorte de 31 intervencionistas com câncer no cérebro, 23 dos quais eram cardiologistas intervencionistas descobriram que 85% dos cânceres eram do lado esquerdo.[4] Isto se dá pelo fato de que o lado esquerdo dos operadores fica mais próximo da fonte de radiação.[4,15] Além disso, efeitos da radiação incluem doenças malignas da pele, trato gastrointestinal e glândula tireoide.[21] Como mencionado anteriormente, já foi demonstrado que a ICP assistida por robô diminui a exposição à radiação em mais de 95% para o operador primário em comparação com os níveis encontrados na ICP tradicional.[12] Esta diminuição é devida a ao fato da cabine de comando do sistema robótico ser plenamente blindada à radiação e também pelo aumento da distância da fonte de radiação.

Cardiologistas intervencionistas acumulam décadas de estresse cervical e lombar pelo uso das pesadas vestimentas de proteção radiológica. Estas vestimentas podem gerar pressões nos discos intervertebrais de até 300 libras por polegada quadrada resultando, frequentemente, doença de disco espinhal, artrite, dor crônica nas costas ou dor no quadril, joelho e tornozelo.[19] Já ficou documentado que aproximadamente metade dos cardiologistas intervencionistas relatam problemas na coluna, quadris, joelhos ou tornozelos.[22] Como a R-ICP teve sua implementação recentemente, não há estudos avaliando diretamente os benefícios ortopédicos a longo prazo dessa nova tecnologia. No entanto, intuitivamente, a R-ICP oferece benefícios neste sentido. O operador principal pode trabalhar sentado em cabine sem exposição radiológica, sem a necessidade de pesadas vestimentas. Para isso, o operador secundário ou a equipe de suporte deve ser competente para carregar e trocar dispositivos dentro do cassete robótico.

BENEFÍCIOS POTENCIAIS PARA O PACIENTE DA ICP ASSISTIDA POR ROBÓTICA

Os benefícios da R-ICP assistida para os pacientes incluem a medição do comprimento da lesão para seleção adequada do tamanho do *stent* e movimentos milimétricos de balões e *stents* para posicionamento preciso dos dispositivos. Além disso, o posicionamento do *stent* pode ser aprimorado pelo fato de o operador estar sentado mais próximo dos monitores de fluoroscopia na cabine de comando, potencialmente permitindo maior atenção aos detalhes.

Tradicionalmente, os operadores estimam visualmente o comprimento da lesão, o que é altamente variável e muitas vezes impreciso, mesmo entre cardiologistas intervencionistas experientes. Em um estudo recente com 40 cardiologistas intervencionistas que avaliou a estimativa visual para o comprimento das lesões coronárias comparado com a angiografia coronariana qualitativa, a precisão foi acurada em apenas 30% dos casos. Medidas subestimadas do comprimento da lesão podem ter efeitos deletérios: cobertura incompleta da lesão ou implante de um *stent* adicional sobreposto. A cobertura incompleta de lesões resulta em aumento das taxas de

revascularização do vaso-alvo e infarto do miocárdio (IM).[23] A sobreposição de *stents* está relacionada ao aumento de custos, risco de trombose de *stents*, novas revascularizações e infarto do miocárdio.[24] Da mesma forma, a superestimação do comprimento da lesão resulta em excesso do comprimento do *stents* associado ao aumento do risco de reestenose.[25]

Em um estudo com 60 pacientes consecutivos submetidos R-ICP usando o CorPath 200, os operadores forneceram estimativas visuais do comprimento da lesão e depois utilizaram o sistema robótico para fazer medições.[25] Em apenas 35% dos casos a estimativa visual resultou em uma seleção precisa do comprimento do *stents*, enquanto 33% foram superestimados e 32% subestimados. Em cinco pacientes, ou 8,3% dos casos, foi colocado um *stents* a menos graças à medição robótica da lesão. Isso resultou em economia de recursos, com potencial benefício clínico pelas razões supracitadas.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Recentemente surgem dados dedicados da R-ICP em população complexa e de alto risco. Um total de seis pacientes do registro PRECISION foram submetidos à R-ICP em tronco de coronária esquerda com ou sem suporte hemodinâmico, com completo sucesso do procedimento.[13] As intervenções neste cenário frequentemente requerem um prolongado tempo, resultando em maior exposição à radiação do paciente e médico, com o potencial adicional de fadiga do operador. A R-PCI poderia potencialmente mitigar esses problemas.

A aterectomia a laser é uma modalidade adjuvante de modificação da lesão que pode ser implementada no sistema robótico de segunda geração. Essa implementação, fornece controle preciso do cateter de aterectomia, garantindo que o cateter a laser seja avançado de forma controlada e precisa durante a aterectomia.[26] O uso da R-ICP para intervenções em infartos do miocárdio com elevação de ST já foi descrita; no entanto, estudos maiores são necessários.[27]

A possível desconexão dos braços de intervenção do robô com controle através de transferência segura de dados sem fio, de alta velocidade, seriam os avanços mais impactantes para a R-ICP. Isso permitiria que um único operador controlasse braços robóticos remotos (por exemplo, em diferentes laboratórios, prédios ou cidades) com assistência local. A viabilidade do R-ICP remota, ou *telestentsing*, foi demonstrada recentemente em uma pequeno coorte prospectiva em que o *cockpit* robótico estava localizada em uma sala isolada fora do laboratório de cateterismo.[28] O procedimento foi realizado via comunicação audiovisual com a equipe do laboratório. Dezenove dos 20 procedimentos foram concluídos com sucesso, sem mortes ou revascularização urgente no período intra-hospitalar. A R-ICP vem sendo feita agora a uma distância de 160 km em um modelo porcino. Mais recentemente cinco pacientes com lesão única e de baixa complexidade foram tratados por R-ICP a distância. O desfecho primário foi o sucesso do procedimento, sem eventos cardíacos adversos maiores antes da alta. Neste estudo piloto o operador ficou a 20 milhas de distância do paciente e alcançou o desfecho primário em 100% dos casos.[29] Estudos maiores confirmando a segurança e viabilidade do *telestentsing*, com superação de obstáculos tecnológicos básicos serão necessárias antes de implementar a R-ICP em grandes distâncias geográficas.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não possuir conflitos de interesse na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Gruntzig AR, Senning A, Siegenthaler WE. Nonoperative dilatation of coronary-artery stenosis: percutaneous transluminal coronary angioplasty. N Engl J Med. 1979;301(2):61-8.
2. **Andreassi MG, Piccaluga E, Guagliumi G, Del Greco M, Gaita F, Picano E. Occupational Health Risks in Cardiac Catheterization Laboratory Workers. Circ Cardiovasc Interv. 2016;9(4):e003273.**
3. **Karatasakis A, Brilakis HS, Danek BA, Karacsonyi J, Martinez-Parachini JR, Nguyen-Trong PJ, et al. Radiation-associated lens changes in the cardiac catheterization laboratory: Results from the IC-CATARACT (CATaracts Attributed to RAdiation in the CaTh lab) study. Catheter Cardiovasc Interv. 2018;91(4):647-54.**
4. Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. Am J Cardiol. 2013;111(9):1368-72.
5. Yao DK, Chen H, Ma LL, Ma ZS, Wang LX. Totally endoscopic atrial septal repair with or without robotic assistance: a systematic review and meta-analysis of case series. Heart Lung Circ. 2013;22(6):433-40.
6. **Grodanz E. Robotic mitral valve repair. J Cardiovasc Nurs. 2015;30(4):325-31.**
7. **Wang N, Zhou JJ, Phan S, Yan TD, Phan K. Robot-assisted Hybrid Coronary Revascularisation: Systematic Review. Heart Lung Circ. 2015;24(12):1171-9.**
8. Shurrab M, Danon A, Lashevsky I, Kiss A, Newman D, Szili-Torok T, et al. Robotically assisted ablation of atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis. Int J Cardiol. 2013;169(3):157-65.
9. Beyar R, Gruberg L, Deleanu D, Roguin A, Almagor Y, Cohen S, et al. Remote-control percutaneous coronary interventions: concept, validation, and first-in-humans pilot clinical trial. J Am Coll Cardiol. 2006;47(2):296-300.
10. **Smitson CC, Ang L, Pourdjabbar A, Reeves R, Patel M, Mahmud E. Safety and Feasibility of a Novel, Second-Generation Robotic-Assisted System for Percutaneous Coronary Intervention: First-in-Human Report. J Invasive Cardiol. 2018;30(4):152-6.**
11. Granada JF, Delgado JA, Uribe MP, Fernandez A, Blanco G, Leon MB, et al. First-in-human evaluation of a novel robotic-assisted coronary angioplasty system. J Am Coll Cardiol Intv. 2011;4(4):460-5.
12. Weisz G, Metzger DC, Caputo RP, Delgado JA, Marshall JJ, Vetrovec GW, et al. Safety and feasibility of robotic percutaneous coronary intervention: PRECISE (Percutaneous Robotically--Enhanced Coronary Intervention) Study. J Am Coll Cardiol. 2013;61(15):1596-600.
13. **Mahmud E, Naghi J, Ang L, Harrison J, Behnamfar O, Pourdjabbar A, et al. Demonstration of the Safety and Feasibility of Robotically Assisted Percutaneous Coronary Intervention in Complex Coronary Lesions: Results of the CORA-PCI Study (Complex Robotically Assisted Percutaneous Coronary Intervention). JACC Cardiovasc Interv. 2017;10(13):1320-7.**
14. **Walters D, Reeves RR, Patel M, Naghi J, Ang L, Mahmud E.**

Complex robotic compared to manual coronary interventions: 6- and 12-month outcomes. Catheter Cardiovasc Interv. 2019;93(4):613-7.

15. Vano E, Gonzalez L, Guibelalde E, Fernandez JM, Ten JI. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. Br J Radiol. 1998;71(849):954-60.
16. Vano E, Gonzalez L, Fernandez JM, Alfonso F, Macaya C. Occupational radiation doses in interventional cardiology: a 15-year follow-up. Br J Radiol. 2006;79(941):383-8.
17. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Romano-Miller M, Rehani MM. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. J Vasc Interv Radiol. 2013;24(2):197-204.
18. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. Radiat Res. 2010;174(4):490-5.
19. **Hasan F, Bonatti J. Robotically assisted percutaneous coronary intervention: benefits to the patient and the cardiologist. Expert Rev Cardiovasc Ther. 2015;13(11):1165-8.**
20. Andreassi MG, Cioppa A, Botto N, Joksic G, Manfredi S, Federici C, et al. Somatic DNA damage in interventional cardiologists: a case-control study. FASEB J. 2005;19(8):998-9.
21. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Radiat Res. 2007;168(1):1-64.
22. Klein LW, Miller DL, Balter S, Laskey W, Naito N, Haines D, et al. Occupational health hazards in the interventional laboratory: Time for a safer environment. Radiology. 2009;250(2):538-44.
23. Costa MA, Angiolillo DJ, Tannenbaum M, Driesman M, Chu A, Patterson J, et al. Impact of *stents* deployment procedural factors on long-term effectiveness and safety of sirolimus-eluting *stents*s (final results of the multicenter prospective STLLR trial). Am J Cardiol. 2008;101(12):1704-11.
24. Raber L, Juni P, Loffel L, Wandel S, Cook S, Wenaweser P, et al. Impact of *stents* overlap on angiographic and long-term clinical outcome in patients undergoing drug-eluting *stents* implantation. J Am Coll Cardiol. 2010;55(12):1178-88.
25. **Campbell PT, Kruse KR, Kroll CR, Patterson JY, Esposito MJ. The impact of precise robotic lesion length measurement on stents length selection: ramifications for stents savings. Cardiovasc Revasc Med. 2015;16(6):348-50.**
26. **Almasoud A, Walters D, Mahmud E. Robotically performed excimer laser coronary atherectomy: Proof of feasibility. Catheter Cardiovasc Interv. 2018;92(4):713-6.**
27. **Kapur V, Smilowitz NR, Weisz G. Complex robotic-enhanced percutaneous coronary intervention. Catheter Cardiovasc Interv. 2014;83(6):915-21.**
28. **Madder RD, VanOosterhout SM, Jacoby ME, Collins JS, Borgman AS, Mulder AN, et al. Percutaneous coronary intervention using a combination of robotics and telecommunications by an operator in a separate physical location from the patient: an early exploration into the feasibility of telestentsing (the REMOTE-PCI study). EuroIntervention. 2017;12(13):1569-76.**
29. **Patel TM, Shah SC, Pancholy SB.Pancholy. Long Distance Tele-Robotic-Assisted Percutaneous Coronary Intervention: A Report of First-in-Human Experience. EClinical Medicine. 2019;14:53-8.**