

Emprego de sistemas robóticos na cirurgia cardiovascular*

Robotic systems in cardiovascular surgery

Roberto T. SANT'ANNA¹, Paulo R. L. PRATES², João Ricardo M. SANT'ANNA², Paulo R. PRATES², Renato A. K. KALIL², Diogo E. SANTOS¹, Ivo A. NESRALLA³

RBCCV 44205-686

"Our future in surgery lies not in blood and guts, but in bits and bytes!"
Colonel Richard Satava

Resumo

O desenvolvimento de sistemas robóticos para cirurgia teve início na década de 80, por solicitação do exército norte-americano, que antevia a possibilidade de realizar operações em teatros de guerra, distantes do local onde estava o cirurgião. Entretanto, o primeiro uso em humanos só ocorreu anos mais tarde, numa ressecção transuretral de hiperplasia benigna de próstata.

Cirurgiões cardíacos foram logo atraídos pela técnica robótica devido a possível aplicação com reduzido caráter invasivo; esperava-se menor trauma cirúrgico e redução da dor, morbidade, tempo de internação e custo do procedimento. Atualmente, de forma restrita e em casos selecionados, robôs são usados para revascularização do miocárdio e implante de marcapasso em cirurgias cardíacas totalmente endoscópicas; podendo também constituir apoio visual na retirada de artéria torácica interna, reconstrução valvar mitral e correção de defeitos congênitos. Utilizando o robô auxiliar AESOP® para controle do videotoracoscópio, com controle vocal por meio do sistema HERMES®, temos realizado dissecação da artéria torácica interna, implante de eletrodo ventricular esquerdo

e abordagem de defeitos congênitos na cirurgia de correção.

Apesar do entusiasmo científico inicial com a cirurgia robótica, ainda não existe evidência clara de superioridade desta técnica em relação à operação convencional, em termos de resultado. Isto se aplica também ao custo, pois o investimento inicial na aquisição de sistema cirúrgico completo (console, controle de vídeo, instrumental) provavelmente é compensado após muitos procedimentos e longo intervalo. Mas é certo que a cirurgia robótica terá um lugar no futuro, possibilitando aprendizagem, telepresença e realização de procedimentos pouco invasivos, embora complexos.

Descritores: Robótica. Procedimentos cirúrgicos cardíacos, métodos. Procedimentos cirúrgicos minimamente invasivos.

Abstract

The development of robotic systems for surgery started in the 80's, motivated by the US army's need for surgical procedure in field hospitals with surgeons in a distant location (tele-presence). But the first human application of robotic surgery occurred years later in a transurethral resection for benign prostatic hyperplasia.

Cardiac surgeons were attracted to the robotic techniques because of the potential reduction in the invasive character

* Trabalho parcialmente subvencionado pelo FAPIC

1 Acadêmico da Fundação Faculdade de Ciências Médicas de Porto Alegre.

2 Cirurgião da equipe de cirurgia cardiovascular do Instituto de Cardiologia/Fundação Universitária de Cardiologia do Rio Grande do Sul

3 Chefe da equipe de cirurgia cardiovascular do Instituto de Cardiologia/Fundação Universitária de Cardiologia do Rio Grande do Sul

Endereço para correspondência:

Roberto Tofani Sant'Anna

Instituto de Cardiologia do Rio Grande do Sul / Fundação Universitária de Cardiologia

Av. Princesa Isabel, 370 Unidade de Pesquisa Porto Alegre. RS. CEP: 90620-001

E-mail: tofani.ez@terra.com.br / editoracao-pc@cardiologia.org.br

Artigo recebido em dezembro de 2003

Artigo aprovado em abril de 2004

of the procedures. This results in reduced trauma, a reduction of pain and morbidity, a faster recovery and lower cost of surgery. Robotic systems were developed, allowing totally thoracoscopic cardiac surgery for myocardial revascularization and multi-site pacemaker implantation in selected cases. Video-thoracoscopic support systems for internal thoracic artery harvesting, mitral valve reconstruction and correction of congenital heart defects also exist. We used the AESOP® system with HERMES® voice control to harvest the internal thoracic artery, trans-thoracic implantation of the left ventricular electrode and as an approach to congenital heart defects for surgical repair.

In spite of scientific enthusiasm related to robotic surgery, there is no clear evidence of superiority of this technique

when compared to conventional procedures in terms of results. The same is true with the cost of the procedures, and even if a single robotic surgery is less expensive, the initial investment for a complete robotic system (console, video control, instruments) can be compensated only with many procedures over the long term. But there is no doubt that robotic surgery will have a place in the future of surgery, providing tele-presence of the surgeon, enabling teaching and training and performing less invasive surgical procedures.

Descriptors: Robotics. Cardiac surgical procedures, methods. Surgical procedures, minimally invasive.

INTRODUÇÃO

O robô é definido como “um manipulador multifuncional reprogramável feito para mover materiais, ferramentas ou instrumentos especializados por intermédio de movimentos programados para realização de várias tarefas”, segundo o Robot Institute of America.

O conceito inicial de robótica em cirurgia envolvia a idéia de realizar uma operação em local distante de onde estava o cirurgião. Esta possibilidade atraiu os militares norte-americanos, que iniciaram o desenvolvimento de robôs visando a realização de cirurgias no campo de batalha, mediante controle remoto pelo médico [1]. Também para a medicina aeroespacial este conceito pareceu aplicável.

Seguindo-se ao desenvolvimento dos protótipos iniciais, a primeira utilização de robôs em cirurgia ocorreu em uma ressecção transuretral de uma hiperplasia benigna da próstata [2]. Mas o desenvolvimento de projetos iniciais foi dirigido à área da neurocirurgia, ainda na década de 80, quando um robô industrial foi usado para segurar os instrumentos numa biópsia estereostática [3].

Enquanto isso, na área de cirurgia geral, a videolaparoscopia obtinha progressos, possibilitando a realização de diversas cirurgias abdominais com incisão diminuta, contribuindo para reduzir o custo do procedimento e propiciar uma recuperação mais rápida ao paciente [4].

Seguindo esta tendência, a motivação para o uso de sistemas robóticos em cirurgia passou a ser a diminuição da invasibilidade do procedimento, resultando em menor trauma cirúrgico, e na redução da dor e morbidade relacionada à cirurgia, do período de internação no hospital e do custo de procedimento [5]. Entretanto, a motivação inicial, telepresença do cirurgião, não foi esquecida nos sistemas mais modernos e complexos.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sobre aspectos atuais da cirurgia robótica, mostrar a experiência dos autores e indicar algumas perspectivas para técnicas correlatas.

SISTEMAS ROBÓTICOS CIRÚRGICOS

O sistema robótico cirúrgico é definido como “um manipulador controlado por computador com sensores artificiais que pode ser reprogramado para mover e posicionar instrumentos cirúrgicos, visando realizar tarefas cirúrgicas” [3].

Os robôs de utilização cirúrgica podem ser classificados de diversas formas [2,6]. A mais prática delas divide-os em duas categorias: passivos e ativos.

Um robô “passivo” seria utilizado para posicionar corretamente um instrumento fixo e depois seria desligado, com o cirurgião inserindo os demais instrumentos após. Pelo menos três sistemas desta categoria estão disponíveis hoje: AESOP, Fips endoarm e Endoassist [4,7-10]. São particularmente úteis nas cirurgias que dependem mais da produção de imagem, como os procedimentos laparoscópicos, uma vez que a imagem gerada por eles é mais estável do que a gerada pelo assistente humano, tendo em vista a firme fixação do endoscópio pelo robô [11].

Já o robô “ativo” seria aquele capaz de mover os instrumentos utilizados na cirurgia, transmitindo de modo acurado o movimento das mãos, filtrando e eliminando o tremor natural, e aumentando a precisão cirúrgica [12]. O cirurgião manipula uma mão eletrônica que capta seus movimentos, controlando o robô, em um conceito chamado de mestre-escravo [12,13]. É também referido como telemanipulador, pois permite o controle remoto do instrumental pelo cirurgião. Os sistemas ZEUS (Computer Motion, Goleta, California, USA) [14] e da Vinci (Intuitive Surgical, Sunnyvale, California, USA) são exemplos deste tipo de robô, sendo que o modelo da Vinci provavelmente é mais utilizado em cirurgias robóticas “totais”. SUNG e GILL [15] já realizaram um estudo comparando estes dois sistemas, em modelo experimental de laparoscopia em suínos. Foi demonstrado que os dois são efetivos, mas o da Vinci apresentava uma curva de aprendizagem menor, um reduzido tempo de realização de procedimentos e o controle mais intuitivo.

Os sistemas operacionais atuais representam a combinação de dispositivo visual, para controle do movimento da câmera de vídeo, e de dispositivo motor, para controle do instrumental cirúrgico. O suporte do endoscópio, capaz de mobilizar a câmera conforme as necessidades (e ordens) do cirurgião, usualmente é complementado pelo sistema de comando verbal dos equipamentos de sala de cirurgia, o que permite ao cirurgião não apenas o controle visual do procedimento, bem como determinar a função de alguns equipamentos como bisturi elétrico, posição da mesa cirúrgica, foco de iluminação. O sistema endoscópico, ou robô "passivo", bastante utilizado isoladamente em procedimentos laparoscópicos e toracoscópicos, é componente obrigatório nos sistemas de telecirurgia mais complexos, uma vez que auxilia a função visual. A Figura 1 ilustra o modelo AESOP utilizado pelos autores.



Fig. 1 - O sistema AESOP (utilizado pelos autores)

Quanto ao dispositivo motor, é composto de unidade mestre, localizada à distância do paciente e na qual o cirurgião manipula o instrumental, e unidade escrava, que possibilita "telepresença" no campo cirúrgico, para manipulação de instrumentos. Na cirurgia cardíaca são utilizados dois braços mecânicos, que controlam os instrumentos inseridos por meio de trocateres transtorácicos. A Figura 2 ilustra um sistema Zeus e a Figura 3, o sistema da Vinci.

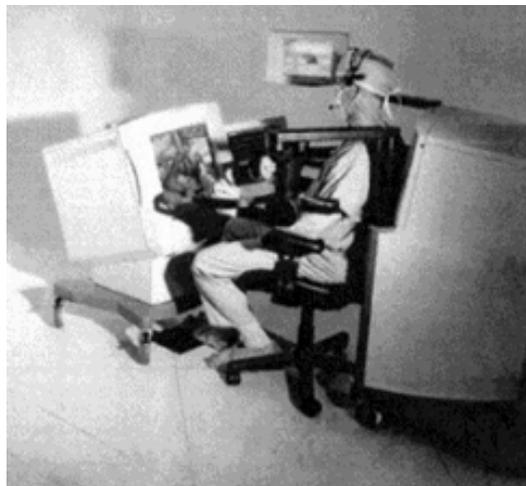


Fig. 2 - O sistema Zeus



Fig. 3 - O sistema da Vinci

CIRURGIA ROBÓTICA

O conceito de cirurgia robótica, em especial considerando-se a técnica videotoracoscópica, vem ao encontro das proposições atuais da cirurgia, em que se busca realizar procedimentos com reduzido trauma operatório e a pronta recuperação do paciente [16]. Isto se traduz em menor morbidade pós-operatória e tem reflexo direto no custo individual do procedimento, que teoricamente seria reduzido, embora não se possa precisar quanto tempo é necessário para compensar o elevado investimento inicial, em especial ao se considerar o custo dos sistemas cirúrgicos complexos.

As vantagens citadas são comuns aos sistemas endoscópicos. Os atrativos específicos da cirurgia robótica sobre a cirurgia endoscópica convencional [17,18] tornam possível uma indicação mais abrangente da técnica, especialmente em cirurgias de tórax, sendo os procedimentos compatíveis resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação das limitações das técnicas endoscópicas em relação à cirurgia robótica - Traduzida de Mohr et al., 2001 [18]

Função	Instrumentos endoscópicos convencionais	Telemanipuladores
Graus de liberdade	4	6
Filtração de tremor	Não	Sim
Taxa de transmissão de movimento	1:1	1:1 a 5:1 (ajustável)
Alinhamento mão-olho	Pobre	Natural
Efeito de alavanca	Movimento reverso	Não é efetivo
Transmissão de força	Grande/anormal/não linear (na dependência do comprimento do instrumento)	Programável
Ergonomia (para o cirurgião)	Desfavorável	Favorável
Imagem	Bidimensional	Tridimensional

Boa parte destas vantagens pode ser resumida no conceito de transparência visual, isto é, o mapeamento correto entre o que o cirurgião vê e faz e de como seus movimentos são transmitidos a partir do console até o campo cirúrgico.

Aplicações na cirurgia cardiovascular

Tradicionalmente, as cirurgias de revascularização do miocárdio e de troca valvar têm sido realizadas por meio de esternotomia, uma abordagem que permite acesso a todas as estruturas cardíacas e grandes vasos [18]. Circulação extracorpórea (CEC), combinada à preservação miocárdica por cardioplegia, por longo tempo foi considerada como adjunto necessário à cirurgia cardíaca, proporcionando um campo cirúrgico sem movimento e sangramento. O surgimento e a evolução de procedimentos intervencionistas para revascularização do miocárdio permitiram uma alternativa terapêutica livre de trauma cirúrgico, sem anestesia e com possibilidade de uma recuperação rápida do paciente, desafiando a abordagem cirúrgica. Conseqüentemente, foram desenvolvidas técnicas de CRM sem CEC e também realizada por meio de minitoracotomia, com resultados excelentes. Simultaneamente, o desenvolvimento de equipamentos que permitem CEC com tórax fechado, pela companhia Heartport, trouxe uma sustentação mais sólida para aplicação de técnicas endoscópicas em cirurgia cardíaca.

De forma simplificada, a utilização de sistemas robóticos para cirurgia de coronariana atualmente pode ser dividida em dois níveis [17]:

1 - Controle de câmara robótico (ou por meio de telemanipulador) para dissecação do conduto arterial (usualmente artéria mamária interna), o que é seguido da anastomose distal por meio de minitoracotomia coincidente ao local do procedimento.

2 - Cirurgia de revascularização do miocárdio totalmente

endoscópica (CRMTE): A retirada e preparação do enxerto arterial, a preparação do vaso coronariano a ser anastomosado, o controle do procedimento e a anastomose são todos realizados pelo cirurgião, por meio de controle remoto do console.

A dissecação da artéria mamária interna com telemanipuladores já tem sua eficiência estabelecida [19]. A utilização deste método, em uma cirurgia de revascularização com minitoracotomia, reduz a dor no período pós-operatório, provavelmente por levar a menor retração do gradil costal. Em dois estudos diferentes, utilizando o sistema da Vinci, realizados por MOHR et al. [18] e por FALK et al. [20], foram necessários em média 64 + 64 minutos e 61 + 27 minutos para dissecação da artéria, mas este tempo foi reduzido para 25 e 40 minutos, respectivamente, nos últimos casos da série. Ambos demonstraram uma média de funcionamento após anastomose superior a 95%.

A primeira série de casos em que foi realizada CRMTE foi apresentada em 1999, por LOULMET et al. [21], que apresentou resultados da cirurgia de revascularização do miocárdio para artéria descendente anterior em quatro pacientes, utilizando o Intuitive Surgical System. Apesar do treinamento prévio em animais e cadáveres e da realização prévia de procedimentos mais simples, dificuldades técnicas surgiram durante os procedimentos, sendo que a cirurgia só foi completada de maneira totalmente endoscópica em dois deles e nos demais foi necessária uma minitoracotomia. Os procedimentos foram longos, necessitando de 78 + 12 min para dissecação da artéria mamária interna, 25 + 8 min para preparação do pedículo da artéria e 18 e 32 min para anastomose. A angiografia demonstrou patência de enxerto e seis meses após, os pacientes estavam livres de sintomas. Em relação a possíveis vantagens da técnica, um dos pacientes que realizou CRMTE não necessitou analgesia no pós-operatório. Contudo, até por motivos relacionados à segurança, tendo em vista a aplicação de uma técnica nova, não houve diferença no tempo de internação hospitalar em relação a

cirurgias convencionais.

As experiências mais significativas com CRMTE foram relatadas MOHR et al. [18] e DOGAN et al. [22], com 27 e 45 casos, respectivamente. Ambos demonstraram que esta abordagem é possível e segura para pacientes selecionados. WIMMER-GREINECKER et al. [23] demonstraram uma taxa de conversão para cirurgia aberta de 22% no início da experiência, que se reduziu para 5% nos últimos 20 pacientes (total de conversão de 10 casos, sendo sete para minitoracotomia e três para esternotomia), com um tempo total de cirurgia de $4,2 \pm 0,4$ horas, tempo de CEC de 136 ± 11 min e de pinçamento aórtico de 61 ± 5 min. Os 22 pacientes que realizaram angiografia apresentavam patência do enxerto e seis meses após todos pacientes da série estavam livres de sintomas.

MOHR et al. [18] apresentaram, num total 148 procedimentos realizados com cirurgia robótica, 27 casos de CRMTE. Em cinco deles (18,5%), a cirurgia teve de ser convertida em uma forma mais invasiva (minitoracotomia em quatro e esternotomia em um). Não houve mortalidade e todos pacientes receberam alta com angiografia demonstrando enxerto patente e bom resultado funcional. O tempo necessário para realização do procedimento variou entre 3,5 e 8 horas, com uma curva de aprendizagem importante.

Contudo, as técnicas descritas neste estudo trazem a limitação de utilizarem circulação extracorpórea, pelo sistema Heartport. Ainda que este sistema, criado por um subgrupo da Universidade de Stanford, seja eficaz, ele não elimina os efeitos deletérios inerentes à CEC, como a resposta inflamatória sistêmica, a liberação de microêmbolos, a depressão miocárdica e os problemas cicatriciais promovidos pela hipotermia [24,25]. Na casuística de MOHR et al. [18] foram feitas tentativas de CRMTE sem CEC em oito pacientes, o que foi conseguido em apenas quatro casos. Os autores atribuíram esta limitação à dificuldade técnica do procedimento em si, que necessitou de um segundo console robótico para disponibilizar auxílio cirúrgico, e à carência de estabilizadores endoscópicos que se adaptassem corretamente ao instrumental robótico.

Analisando em conjunto estas experiências e outras [18,22,26-28], foi identificado aumento significativo no tempo de cirurgia, tamanho da equipe, anestesia geral, tempo de CEC e custo com equipamento, mas isto parece de alguma forma ser compensado por menor tempo de internação hospitalar e na UTI, redução no nível de dor no pós-operatório e melhor resultado cosmético. É evidente que os resultados tendem a melhorar à medida que a equipe se familiariza com a técnica [26], de modo que se podem prever resultados futuros condizentes com as vantagens teóricas e o entusiasmo inicial. Alguns ensaios clínicos mais abrangentes já estão correntemente em andamento buscando tal comprovação [27,29].

Sistemas robóticos também já foram empregados na área de cirurgia cardiovascular para a reconstrução valvar mitral [30], a correção de defeito de septo interatrial [31-33] e o implante de eletrodos epimiocárdicos para estimulação ventricular esquerda

[34,35]. Num futuro próximo, além de serem incluídas nesta lista outras cirurgias cardíacas convencionais, também farão parte dos recursos da biologia molecular já aplicáveis, como o transplante de células tronco e a injeção de fatores promotores da angiogênese.

Experiência dos autores

Visando adquirir experiência com a cirurgia robótica, utilizamos o robô auxiliar para controle do videotoroscópio, modelo AESOP (COMPUTER MOTION, EUA), um equipamento que está incorporado ao sistema ZEUS. Os procedimentos que têm sido realizados com auxílio da técnica são a cirurgia de revascularização miocárdica, mediante dissecação da artéria mamária interna (Nesralla I.A. e associados, Instituto de Cardiologia do RGS, Porto Alegre, 2001), e, de modo inédito, o implante de eletrodo epimiocárdico ventricular esquerdo, visando estimulação cardíaca multisítio por marcapasso multicameral [36].

Outras aplicações médicas da robótica (tabela2)

Era pensamento que a habilidade de transpor a prática cirúrgica e técnica de um local para outro distante (outro hospital, campo de batalha, estação espacial, país subdesenvolvido) poderia expandir a aplicação de robôs em cirurgia e aumentar o número de intervenções. Embora alguns procedimentos tenham sido realizados remotamente, não existe ainda um caminho definido para este tipo de procedimento, devido a limitações de custo, retardamento de transmissão e questões médicas e legais. Em prazo previsível, a telepresença provavelmente irá se limitar à telemonitorização e não à manipulação remota [37].

Será permitido ao cirurgião ensinar ou orientar o desempenho de uma técnica avançada em um local distante, utilizando a teleobservação e monitorização em tempo real. Sistemas robóticos possibilitarão que diversos cirurgiões partilhem uma experiência de um ato operatório, mediante conexão pela Internet.

Outras aplicações da robótica incluem assistência ao cirurgião (mecânica ou visual), melhora da habilidade, interligação de sistemas em rede e diversas possibilidades terapêuticas guiadas por imagem.

A habilidade cirúrgica pode ser aumentada pela colocação de um microprocessador entre a mão do cirurgião e a ponta do instrumento cirúrgico. Isto permite a realização de tarefas em microescala (super-humana), o que não seria possível sem a intervenção do computador, favorecendo intervenções nas mais diversas áreas da microcirurgia.

Existe ainda aplicação potencial quanto a técnicas de imagem não visuais, incluindo-se a modelagem e reconstrução tridimensional a partir de informações de imagem obtida em tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultra-som. Isto possibilitará a aquisição em tempo real de características patológicas, a criação de modelo espacial e a aplicação de terapêutica percutânea por controle remoto.

Sistemas robóticos possibilitam que diversos cirurgiões partilhem uma experiência de um ato operatório, mediante conexão pela Internet. É possível prever para breve a disponibilidade de

Tabela 2. Assistência por robô e computador em cirurgia: estágio de desenvolvimento e perspectiva - Traduzida de Mack, 2001 [37]

Tarefa	Função	Perspectiva
Assistência cirúrgica	Fixação e posicionamento do endoscópio ativado pela voz	Tornar-se rotina
Regulagem da destreza Filtro de tremor Controle da força manual	Facilita procedimentos endoscópicos de precisão	Ampliar utilização de procedimentos endoscópicos cardíacos
Sistemas da sala de cirurgia em rede	Controle de sistemas pelo cirurgião pela voz ou toque de tela	Integração rápida de sistemas operacionais da sala de cirurgia em futuro próximo
Cirurgia com telepresença Cirurgia remota	Cirurgião em local distante do paciente, comunicando-se pela Internet ou outro modo	Sem uma previsão de uso clínico
Telemonitorização	Coleta de sinais em locais distantes	Aplicação clínica imediata e potencial uso educacional
Reconstrução e modelagem 3-dimensional pela coleta de informações, sendo imagem usada como referência	Aquisição de informações e montagem de imagens não visuais em tempo real	Facilitar a terapêutica percutânea pela combinação da reconstrução 3-dimensional de tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultra-sonografia com o conhecimento cirúrgico
Paradas virtuais (Estabilização de movimento)	Pausas de movimento do coração e instrumental para criar ilusão de imobilidade	Facilitar a cirurgia endoscópica com coração batendo
Simuladores virtuais	Simuladores de cirurgia do tipo "flight-simulator"	Tornando-se realísticos e acessíveis
Ampliação de informação de sensor de feedback	Ação em resposta a feedback não visual	Uso potencial na aplicação local integrada inteligente de drogas ou energia baseada no feedback de nível tecidual
Sistemas mecânicos microeletrônicos	Robôs autônomos miniaturizados	Diagnóstico e intervenção remota por vias naturais do organismo

programa para treinamento cirúrgico, a ser cumprido por residentes (e cirurgiões em fase de aprendizado); preconiza-se que estes sistemas teriam a função análoga aos simuladores de vôo utilizados por pilotos.

Limitações da cirurgia robótica

Além do investimento inicial (próximo a um milhão de dólares para sistemas cirúrgicos robóticos completos), é necessário frisar que as indicações para cirurgia robótica, em especial na área cardiovascular, são bastante específicas e englobam um número restrito de procedimentos. Em nosso meio, como em toda América Latina, o custo de um sistema robótico operacional não poderá ser justificado pelo retorno financeiro, mesmo que utilizado frequentemente e por longo período; assim, é possível que seu uso por longo tempo se restrinja apenas a alguns centros, onde pesquisa e formação profissional representam destaques. Mas, caso sistemas sejam aperfeiçoados, o custo se torne reduzido e a experiência dos centros de treinamento possa ser adequadamente transmitida, é possível que a técnica seja divulgada e se torne disponível em caráter mais amplo.

Considerada especificamente, a abordagem endoscópica

mostra desafios:

1 - Perda nos graus de liberdade, limitação imposta no desempenho de uma tarefa pela execução em um espaço confinado, e pela reduzida motricidade de instrumentos; robôs e outras técnicas de automatização e compensação devem reduzir esta limitante.

2 - A imagem tridimensional se perde em uma tela de televisão de duas dimensões, sendo que as soluções atuais para compensar esta restrição incluem ampliação digital, sombreamento para criar a ilusão de 3ª dimensão e apresentação de imagem de alta resolução. A criação de uma imagem tridimensional tem sido limitada pela perda de resolução associada com sistemas de filtragem e tamanho dos sistemas de visualização necessários para produzir percepção em profundidade, mas ainda assim sistemas, como o da Vinci, já incluem óculos de visão tridimensional.

3 - Dificuldade de adaptação das técnicas endoscópicas aos procedimentos reconstrutivos, como a cirurgia de revascularização do miocárdio; já os procedimentos excisionais ou ablativos são mais facilmente realizáveis por técnicas toracoscópicas [37].

O emprego de telemanipuladores ainda traz a necessidade de conexões de alta velocidade por via telefônica ou satélite [38]. Já foi estudado o efeito do atraso entre a ordem dada pelo cirurgião (mestre) e a correspondência pelo robô (escravo) [39], sendo constatado que se este é superior a 700 metros (m), implica em mais erros na manipulação pelo cirurgião. Atualmente, existe um consenso geral de que o tempo aceitável para execução de ordem deve ser inferior a 300 m [2,38,39].

CONCLUSÕES

Apesar do entusiasmo científico inicial com a cirurgia robótica, já se passaram cinco anos desde a sua primeira aplicação em cirurgia cardiovascular e hoje ainda não há evidência clara de superioridade em termos de resultados, se comparada com os obtidos pelos métodos convencionais disponíveis, excluindo-se o cosmético [40]. De forma que persiste a dúvida se a tecnologia robótica falhou em atingir suas expectativas ou estamos vivenciando uma progressão natural para novo futuro em cirurgia cardíaca [17].

Mas é bem evidente que a cirurgia de revascularização miocárdica endoscópica com o coração batendo necessita aperfeiçoamento e desenvolvimento de técnicas, antes que possa ser difundida. É igualmente incerto que a cirurgia robótica venha a ser estabelecida com a tecnologia, princípios e propósitos com os quais é executada atualmente.

Sabemos que a introdução de qualquer tecnologia em medicina traz consigo resultados iniciais questionáveis, segurança inadequada para os pacientes e aumento do custo dos procedimentos. A progressão da cirurgia cardíaca robótica tem fundamento teórico adequado e suporte tecnológico crescente, mas é limitada pela dificuldade de familiarização com a técnica devido às indicações restritas (poucos pacientes são candidatos) e a disponibilidade de outras opções terapêuticas com resultados bem estabelecidos. Contudo, tanto para a sobrevivência da cirurgia cardíaca como especialidade quanto para o benefício dos pacientes, o investimento em cirurgia robótica e em outras formas capazes de diminuir o caráter invasivo dos procedimentos é válido e deve ser incentivado. É evidente que a intervenção baseada em cateter conquistou um lugar muito importante para tratamento da doença coronariana e que cardiologistas e pacientes têm optado por modos menos invasivos de tratamento [17,41], ainda que os pacientes que realizaram cirurgia apresentem menores índices de recorrência de angina e de taxa de reintervenção. A cirurgia robótica pode representar novo atrativo para a revascularização miocárdica direta.

Não se pode esquecer que, dentro das perspectivas visíveis, o papel do cirurgião será preponderante em tomar decisões médicas, operar o sistema robótico e conduzir o procedimento de modo a propiciar a correção cirúrgica proposta. Assim, a mão do cirurgião continuará sendo o artífice mais importante de uma cirurgia, independente da interface que se interponha entre ele e o paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boehm DH, Reichenspurner H, Gulbins H, Detter C, Meiser B, Brenner P et al. Early experience with robotic technology for coronary artery surgery. *Ann Thorac Surg* 1999;68:1542-6.
2. Davies BL, Hibberd RD, Coptcoat MJ, Wickham JEA. A surgeon robot prostatectomy; a laboratory evaluation. *J Med Eng Technol* 1989;13:273-7.
3. Kwok 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;35:153-60.
4. Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery: from concept to development. *Surg Endosc* 1994;8:63-6.
5. Satava RM. Surgical robotics. The early chronicles: a personal historical perspective. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2002;12:6-16.
6. Buckingham RA, Buckingham RO. Robots in the operating theaters. *Br Med J* 1995;311:1479-82.
7. Jacobs LK, Shayani V, Sackier JM. Determination of the learning curve of the AESOP robot. *Surg Endosc* 1997;11:54-5.
8. Chitwood Jr. WR, Nifong LW. Minimally invasive videoscopic mitral valve surgery: the current role of surgical robotics. *J Card Surg* 2000;15:61-75.
9. Buess GF, Arezzo A, Schurr MO, Ulmer F, Fisher H, Gumb L et al. A new remote-controlled endoscope positioning system for endoscopic solo surgery. The FIPS endoarm. *Surg Endosc* 2000;14:395-9.
10. Schurr MO, Arezzo A, Buess GF. Robotics and systems technology for advanced endoscopic procedures: experiences in general surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16(Suppl 2):S97-105.
11. Kavoussi LR, Moore RG, Adams JB, Partin AW. Comparison of robotic versus human laparoscopic camera control. *J Urol* 1995;154:2134-6.
12. Bann S, Khan M, Hernandez J, Munz Y, Moorthy K, Datta V et al. Robotics in surgery. *J Am Coll Surg* 2003;196:784-95.
13. Cadiere GB, Himpens J, Vertruyen M, Favretti F. The world's first obesity surgery performed by a surgeon at a distance. *Obes Surg* 1999;9:206-9.
14. Damiano Jr. RJ, Reichenspurner H, Ducko CT. Robotically-assisted endoscopic coronary artery bypass grafting: current state of the art. *Adv Card Surg* 2000;12:37-57.
15. Sung GT, Gill IS. Robotic laparoscopic surgery: a comparison of the da Vinci and ZEUS systems. *Urology* 2001;58: 893-8.

16. Lee BR, Bishoff JT, Janetschek G, Bunyaratevej P, Kamolpronwijit W, Cadeddu JA et al. A novel method of surgical instruction: internal telementoring. *World J Urol* 1998;16:367-70.
17. Boyd WD, Stahl KD. The Janus syndrome: a perspective on a new era of computer-enhanced robotic cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003;126:625-30.
18. Mohr FW, Falk V, Diegeler A, Walther T, Gummert JF, Bucerius J et al. Computer enhanced "robotic" cardiac surgery: experience in 148 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;121:842-53.
19. Bucerius J, Metz S, Walther T, Falk V, Doll N, Noack F et al. Endoscopic internal thoracic artery dissection leads to significant reduction of pain after minimally invasive direct coronary artery bypass graft surgery. *Ann Thorac Surg* 2002;73:1180-4.
20. Falk V, Diegeler A, Walther T, Banusch J, Brucerius J, Raumans J et al. Total endoscopic computer enhanced coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000;17:38-45.
21. Loulmet D, Carpentier A, d'Attellis N, Berrebi A, Cardon C, Ponzio O et al. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;118:4-10.
22. Dogan S, Aybek T, Andressen E, Byhahn C, Mierdl S, Westphal K et al. Totally endoscopic coronary artery bypass grafting on cardiopulmonary bypass with robotically enhanced telemanipulation: report of forty-five cases. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002;123:1125-31.
23. Wimmer-Greinecker G, Matheis G, Dogan S, Aybek T, Mierdl S, Kessler P et al. Patient selection for port-access multi vessel revascularization. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16(Suppl 2):S43-7.
24. Mack MJ. Beating heart surgery for coronary revascularization: is it the most important development since the introduction of the heart-lung machine? *Ann Thorac Surg* 2000;70:1774-8.
25. Hart JC, Spooner TH, Pym J, Flavin TF, Edgerton JR, Mack MJ et al. A review of 1582 consecutive Octopus off-pump coronary bypass patients. *Ann Thorac Surg* 2000;70:1017-20.
26. Novick RJ, Fox SA, Kiaii BB, Stitt LW, Rayman R, Kodera K et al. Analysis of the learning curve in telerobotic, beating heart coronary artery bypass grafting: a 90 patient experience. *Ann Thorac Surg* 2003;76:749-53.
27. Damiano Jr. RJ, Tabaie HA, Mack MJ, Edgerton JR, Mullangi C, Graper WP et al. Initial prospective multicenter clinical trial of robotically-assisted coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2001;72:1263-9.
28. Chang L, Satava RM, Pellegrini CA, Sinanan MN. Robotic surgery: identifying the learning curve through objective measurement of skill. *Surg Endosc* 2003;17:1744-8.
29. Damiano Jr. RJ, Ehrman WJ, Ducko CT, Tabaie HA, Stephenson Jr. ER, Kingsley CP et al. Initial United States Clinical Trial of Robotically assisted endoscopic coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000;119:77-82.
30. Autschbach R, Onnasch JF, Falk V, Walther T, Kruger M, Schilling LO et al. The Leipzig experience with robotic valve surgery. *J Card Surg* 2000;15:82-7.
31. Wimmer-Greinecker G, Dogan S, Aybek T, Khan MF, Mierdl S, Byhahn C et al. Totally endoscopic atrial septal repair in adults with computer-enhanced telemanipulation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003;126:465-8.
32. Argenziano M, Oz MC, De Rose Jr. JJ, Ashton Jr. RC, Beck J, Wang F et al. Totally endoscopic atrial septal defect repair with robotic assistance. *Heart Surg Forum* 2002;5:294-300.
33. Argenziano M, Oz MC, Kohmoto T, Morgan J, Dimitui J, Mongero L et al. Totally endoscopic atrial septal defect repair with robotic assistance. *Circulation* 2003;108(Suppl 1):II191-4.
34. Jansens JL, Jottrand M, Preumont N, Stoupel E, de Canniere D. Robotic-enhanced biventricular resynchronization: an alternative to endovenous cardiac resynchronization therapy in chronic heart failure. *Ann Thorac Surg* 2003;76:413-7.
35. DeRose JJ, Ashton RC, Belsley S, Swistel DG, Vloka M, Ehlert F et al. Robotically assisted left ventricular epicardial lead implantation for biventricular pacing. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1414-9.
36. Sant'Anna JRM, Prates PRL, Kalil RAK, Prates PR, Moretto M, Sant'Anna RT et al. Robotic-assisted thoracoscopic implantation of an epimyocardial lead for biventricular pacing. *Progr Biomed Res* 2002;7:32-6.
37. Mack MJ. Minimally invasive and robotic surgery. *JAMA* 2001;285:568-72.
38. Rockall TA, Darzi AW. Tele-manipulator robots in surgery. *Br J Surg* 2003;90:641-3.
39. Fabrizio MD, Lee BR, Chan DY, Stoianovici D, Jarrett TW, Yang C et al. Effect of time delay on surgical performance during telesurgical manipulation. *J Endourol* 2000;14:133-8.
40. Robicsek F. Robotic cardiac surgery: quo vadis? *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003;126:623-4.
41. Diegeler A, Thiele H, Falk V, Hambrecht R, Spyrtantis N, Sick P et al. Comparison of stenting with minimally invasive bypass surgery for stenosis of the left anterior descending coronary artery. *N Engl J Med* 2002;347:561-6.