

Princípios e Indicações da Cirurgia Robótica Para a Reconstrução das Vias Aéreas

Alberto de Hoyos e Ricardo de Hoyos

“A melhor maneira de prever o futuro é criá-lo”

Peter Drucker

Definição de Robô

O dicionário Oxford define o robô como uma máquina capaz de executar uma série de ações complexas automaticamente, especialmente aquela programada por um computador. Outras definições incluem: 1) uma máquina semelhante a um ser humano e capaz de replicar certos movimentos e funções humanas automaticamente, e 2) máquina real ou imaginária controlada por um computador que muitas vezes é feita para parecer um ser humano ou um animal.

A história do Robô

Leonardo da Vinci é creditado como sendo o criador do primeiro robô com a forma humana em 1451¹. O robô é descrito como um cavaleiro na armadura medieval alemã-italiana, capaz de fazer vários movimentos semelhantes aos humanos (**Figura 1**). Leonardo da Vinci criou o robô para provar que o corpo de um ser humano poderia ser imitado. Leonardo usou seus extensos estudos de anatomia e cinestesia para projetar o robô. Sua criação foi uma extensão da **sua hipótese na qual um corpo humano é uma máquina em estrutura e que seus movimentos intrincados poderiam ser imitados com o uso de engrenagens e rodas que eram conectadas a um elaborado sistema de polias e cabos** (<https://youtu.be/fv5otcRKHpo>).

Por meio desses mecanismos, o robô de Da Vinci era capaz de movimentos independentes e podia andar, ficar em pé, sentar, mover os braços e fechar e abrir a boca. Infelizmente, o robô foi perdido ou destruído há muito tempo. Desde a descoberta do caderno de desenhos de Leonardo, em 1957, contendo os desenhos do robô, uma réplica foi fielmente construída por Mark Rosheim em 2002 (*Leonardo's Lost Robots*, Springer 2006).

A palavra “robô” foi usada pela primeira vez para nomear um humanoíde fictício em uma peça de ficção



Figura 1. Cavaleiro mecânico de Leonardo da Vinci.

científica de 1920 escrita pelo escritor tcheco Karel Capek, R.U.R.² A sigla R.U.R. ou *Rossumovi Univerzální Roboti* vem do idioma checo e significa Robôs Univer-sais de Rossum. A peça estreou em 25 de janeiro de 1921 em Praga e introduziu a pa-lavra “robô” para a língua inglesa e para a ficção científica como um todo. A palavra “robota” de checo é traduzida como “servidão” ou “trabalho forçado”. Nesta peça os robôs não eram mecânicos feitos de metal. Em vez disso, eles foram moldados a partir de matéria orgânica sintética com semelhança aos seres humanos e poderiam pensar por si só. Cada robô poderia fazer o trabalho de 2 1/2 trabalhadores humanos, de modo que os humanos pudessem estar livres para não ter outra tarefa, nenhum ou-tro trabalho, nenhum outro cuidado, além de se aperfeiçoarem. Os robôs pareceram felizes em trabalhar para os humanos a princípio. No entanto, eles perceberam que, apesar de não terem “paixão, história e alma”, eram mais fortes e inteligentes que os humanos. Uma rebelião hostil de robôs levou eventualmente à extinção da raça humana, na peça literária e teatral.

Entre os autores de ficção científica, Isaac Asimov contribuiu bastante com várias publicações relacionadas a robôs. Asimov foi um dos escritores mais prolíficos de todos os tempos, tendo escrito ou editado mais de 500 livros. Ele é frequentemente creditado por ser a primeira pessoa a usar o termo robótica no conto “Runaround” composto na década de 1940.³ A robótica é o ramo da engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação que lida com *design*, construção, bem como sistemas de computador para seu controle, *feed-back* sensorial e processamento de informações. Na história, Asimov sugeriu três princípios para orientar o comportamento de robôs e máquinas inteligentes. As três leis da robótica de Asimov, como são assim conhecidas, sobreviveram até o presente.

1. A Primeira Lei da Robótica: um robô não pode ferir um ser humano ou, por falta de ação, permitir que um ser humano se machuque.
2. A Segunda Lei da Robótica: um robô deve obedecer as ordens dadas por um ser humano, exceto se tais ordens possam a entrar em conflito com a Primeira Lei.
3. A Terceira Lei da Robótica: um robô deve proteger sua própria existência, desde que esta proteção não gere conflito com as Primeira e Segunda Leis da Robótica.

Consequentemente, todos os robôs de Asimov são servos fiéis dos seres hu-manos, sendo, portanto, diferentes dos robôs de Capek.

Robôs na Medicina

Os robôs têm sido utilizados desde 1960 em inúmeras áreas, incluindo in-dústrias, computadores, pesquisas e agricultura, para mencionar algumas. “A **cirurgia robótica**” é um termo impreciso, porém tem sido amplamente usado, tanto pela mídia médica quanto pela leiga, sendo geralmente bem aceito. **O termo refere-se à tecnologia cirúrgica que coloca um dispositivo eletromecâni-co assistido por computador no caminho entre o cirurgião e o paciente.** Um termo cientificamente mais preciso para os dispositivos atuais seria “manipula-dores remotos de tele-presença”, já que a tecnologia disponível geralmente não funciona sem o controle explícito e direto de um operador humano.

A Sociedade Americana de Gastroenterologia e Cirurgiões Endoscópicos (*Society of American Gastroenterology and Endoscopic Surgeons - SAGES*) define a cirurgia robótica como um procedimento ou tecnologia cirúrgica que adiciona um dispositivo de tecnologia avançada de computador, promovendo a interação entre um cirurgião e um paciente durante uma cirurgia, assumindo algum grau de controle, anteriormente 100% reservado somente ao cirurgião.

A cirurgia robótica atual tem suas raízes nas vantagens e desvantagens de seus predecessores. O primeiro robô a ajudar na cirurgia foi o *Arthrobot*, que foi desenvolvido e utilizado pela primeira vez em Vancouver em 1983 ⁴. Mais de 60 procedimentos cirúrgicos artroscópicos foram realizados nos primeiros 12 meses, e feito um vídeo pela *National Geographic* em 1985, sobre robôs industriais. A “Revolução de Robótica”, deu destaque ao dispositivo. Em 1985, o robô Puma 560 foi utilizado para realizar biópsias cerebrais com grande precisão sob orientação de tomografia computadorizada (TC). Assim como com qualquer outra inovação tecnológica, este sistema levou ao desenvolvimento de um novo robô cirúrgico, bem melhor, chamado PROBOT. O PROBOT foi especificamente projetado para uma prostatectomia transuretral. Enquanto o PROBOT estava sendo desenvolvido, o ROBODOC, um sistema robótico projetado para auxiliar nos procedimentos de substituição do quadril, foi o primeiro robô cirúrgico aprovado pelo *Federal Drug Administration Agency - FDA*, nos USA. Outros robôs que foram desenvolvidos incluem o Zeus, Sócrates, AESOP e da Vinci. O único dispositivo atualmente aprovado para procedimentos cirúrgicos nos USA é o Sistema Cirúrgico da Vinci.

A cirurgia laparoscópica minimamente invasiva começou em 12 de setembro de 1985, quando Muhe realizou a primeira colecistectomia na Alemanha ⁵. Desde então, a lista de procedimentos realizados, minimamente invasivos, cresceu de acordo com o avanço tecnológico e as habilidades técnicas dos cirurgiões. Desde o início, os robôs cirúrgicos foram criados para superar as limitações da laparoscopia padrão, bem como para melhorar os benefícios da cirurgia minimamente invasiva.

Em 2000, o sistema cirúrgico da Vinci tornou-se o primeiro robô cirúrgico a obter aprovação do FDA, para cirurgia laparoscópica. Segundo o fabricante, o nome “da Vinci” vem do inventor, pintor, filósofo e homem renascentista do século XV: Leonardo da Vinci. Seu estudo da anatomia humana levou ao projeto do primeiro robô conhecido na história, o cavaleiro mecânico ¹. O FDA liberou dispositivos de cirurgia assistida robótica (*robotic assisted surgery - RAS*) para procedimentos cirúrgicos em cirurgia geral, cardíaca, colo-retal, ginecológica, cabeça e pescoço. procedimentos torácicos e urológicos. Alguns procedimentos comuns que podem envolver dispositivos RAS são colecistectomia, pancreatectomia, histerectomia, prostatectomia, nefrectomia, timectomia, lobectomia pulmonar, revascularização miocárdica, troca valvar e reconstrução das vias aéreas. Em várias especialidades cirúrgicas, a cirurgia robótica oferece a maior vantagem em procedimentos reconstrutivos complexos.

O sistema da Vinci está projetado para ajudar os cirurgiões a operar com as capacidades da cirurgia aberta, mas através de pequenas incisões ou orifícios naturais. Embora o robô tenha um papel fundamental nesses procedimentos, o ci-

urgião permanece 100% no comando. Os robôs cirúrgicos não possuem nem inteligência artificial nem funcionamento independente. Em contraste com a definição da palavra robô, os robôs cirúrgicos atualmente não podem ser programados ou agem de forma alguma sem a entrada do cirurgião. Algumas interações ao sistema têm sido introduzidas, incluindo os modelos S, SI, e o Xi. Cada um tem melhorias adicionais aos seus predecessores.

O sistema cirúrgico da Vinci é um sistema mestre-escravo e consiste em vários componentes-chave, incluindo:

1. Um **console** projetado ergonomicamente, onde o cirurgião senta-se durante a cirurgia. Com o cirurgião sentado, em um console, a poucos metros do paciente, o sistema traduz os movimentos da mão do cirurgião em micro-movimentos correspondentes de instrumentos dentro do corpo do paciente. (**Figura 2**).
2. O **carrinho** é posicionado ao lado do paciente durante o procedimento cirúrgico. Inclui três ou quatro braços robóticos que executam os comandos do cirurgião. O sistema exige que todas as manobras cirúrgicas estejam sob o controle direto do cirurgião. Os braços acomodam o telescópio e os vários instrumentos cirúrgicos para realizar as operações, incluindo pinças, eletrocautério, tesouras e grampeadores (**Figura 3**).
3. O **sistema de visão** é equipado com um endoscópio 3D de alta definição e equipamento de processamento de imagem. Este sistema fornece imagens reais da anatomia do paciente. O sistema óptico oferece uma ampliação de até 10X com uma imagem de alta resolução brilhante, nítida e natu-



Figura 2. O console. O cirurgião controla cada movimento e ação do robô através de controles com as mãos e com os pés.

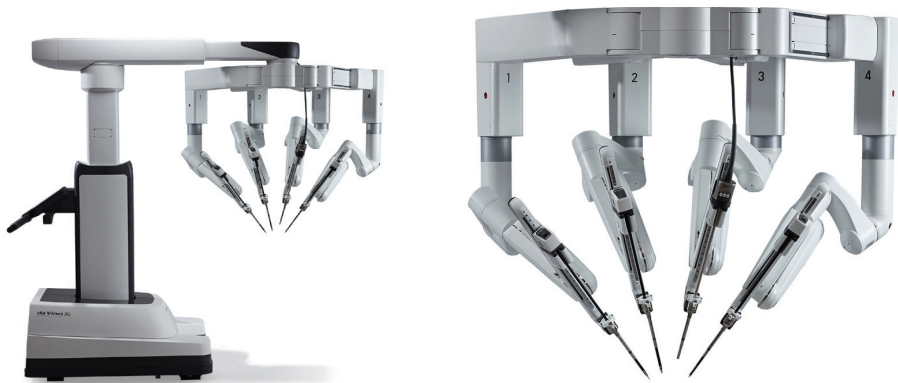


Figura 3. O carrinho, posicionado ao lado do paciente, tem braços robóticos que se movimentam sob o comando do cirurgião que está sentado no console.

ral. A imagem tridimensional com percepção de profundidade representa um grande avanço, em comparação à imagem bidimensional da laparoscopia convencional (**Figura 4**).

4. Os **instrumentos com torção** são projetados com sete graus de movimento, uma amplitude de movimento ainda maior que o pulso humano. Cada instrumento é projetado para uma tarefa específica, como apertar, cortar, coagular, dissecar, grampear, suturar e manipular o tecido. Os cabos internos do instrumento proporcionam capacidade máxima de resposta, permitindo sutura, dissecação e manipulação de tecidos rápidas e precisas (**Figura 5**).



Figura 4. O telescópio 3-D de alta definição. Imagens nítidas e precisas em 3-D são vistas pelo cirurgião sentado no console.

A cirurgia robótica oferece uma alternativa minimamente invasiva à cirurgia aberta e à laparoscopia convencional ou à toracoscopia. Os sistemas robóticos têm várias vantagens em relação à cirurgia endoscópica convencional, incluindo visão tridimensional, aumento da amplitude de movimento, filtração de tremor, ergonomia melhorada e dimensionamento de movimento, permitindo que tarefas cirúrgicas sejam realizadas em espaços confinados.⁶ As vantagens da cirurgia robótica foram documentadas em várias especialidades e incluem dor reduzida, menor risco de infecção, menor perda de sangue, menor tempo de internação hospitalar e retorno mais rápido às atividades normais.

As desvantagens da cirurgia robótica variam e são de vários tipos. Uma das principais desvantagens é a perda de *feedback* tátil (ou hápticos).⁷ O *feedback* tátil é um ingrediente essencial na realização de operações complexas ou delicadas.

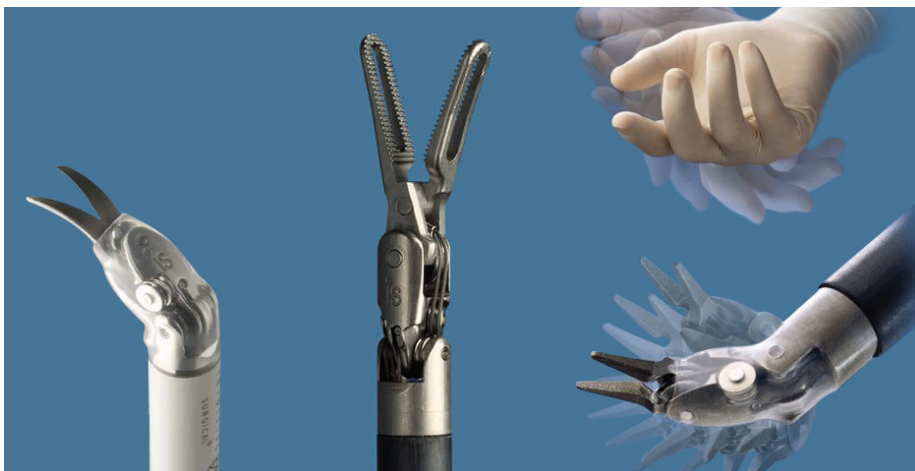


Figura 5. Instrumentos de punho com sete graus de liberdade permitem acesso a espaços restritos.

Essa deficiência com os sistemas robóticos atuais é uma desvantagem significativa na realização de tarefas cirúrgicas tecnicamente complicadas e delicadas. Quando há perda de *feedback* tátil, o cirurgião permanece inconsciente de quanta pressão ou tração está sendo aplicada aos tecidos. Com a prática, os cirurgiões podem superar essa deficiência aprendendo a usar a substituição sensorial, contando com “dicas” visuais para entender as forças exercidas por suas ferramentas. Pesquisas intensas estão sendo conduzidas no campo dos hápticos aplicados à Medicina. O Telelap ALF-X, um sistema cirúrgico robótico endoscópico italiano, apresenta um *feedback* tátil, permitindo ao cirurgião “sentir,” indiretamente, os tecidos que estão sendo manipulados. Isso pode levar a uma segurança melhor, permitindo que certas manobras sejam realizadas com maior confiança.

Sistemas mais novos irão incorporar instrumentos flexíveis, direcionáveis e miniaturizados, capazes de serem implantados através de uma única porta, sendo ideal em espaços anatômicos restritos, como as vias aéreas superiores (*Medrobotics, Flex-Robotic System*, Raynham, MA, EUA). Este sistema está atualmente aprovado para uso em cirurgia de orifícios naturais em adultos, como procedimentos retais e orofaríngeos, hipofaríngeos e laríngeos.

Outra desvantagem da cirurgia robótica é a falta de treinamento e certificação padronizados. O FDA não regulamenta a prática de Medicina e, portanto, não supervisiona ou fornece credenciamento para treinamento médico. Em vez disso, o desenvolvimento e a implementação do treinamento são de responsabilidade do fabricante, dos médicos e das unidades de saúde. Cursos básicos e avançados são oferecidos pelos centros de educação cirúrgica e pelas empresas fabricantes. Esses cursos incluem simulação baseada em computador, animais e cadáver e fornecem um currículo para residentes ou novatos e cirurgiões experientes que desejam praticar a cirurgia robótica. A curva de aprendizado pode variar de 20 a mais de 100 casos, dependendo da complexidade do procedimento. Médicos, hospitais e instalações que usam dispositivos RAS devem garantir que o treinamento adequado seja concluído, e que os cirurgiões tenham credenciais apropriadas para manter a segurança do paciente.

Talvez a maior desvantagem da cirurgia robótica atualmente seja seu custo. Cada sistema varia de preço de US \$ 1,4 milhão a US \$ 2,5 milhões, e o uso da cirurgia robótica aumenta o custo do procedimentos em si, de US \$ 1.000 a US \$ 3.000. Os sistemas também exigem manutenção dispendiosa e exigem o uso de insumos adicionais (uso único ou até 20 reutilizações por equipamento robótico). O uso de sistemas robóticos também pode exigir um tempo de cirurgia maior que as alternativas padrão, elevando ainda mais o custo.

De todos os instrumentos e instrumentos cirúrgicos que os hospitais adotaram, os sistemas robóticos são hoje um dos itens mais caros nas salas de cirurgia. É um símbolo do que está errado com a atenção à saúde: a adoção generalizada de novas tecnologias caras com poucas evidências científicas para apoiar seu uso.

A cirurgia robótica em Otorrinolaringologia Pediátrica atualmente tem sua maior aplicação na via aérea superior. Certamente, o horizonte expande a utilização, de acordo com o desenvolvimento de novos equipamentos cirúrgicos, melhora a tecnologia de imagem e da interface entre o cirurgião e o robô⁸.

É obrigatório nestes procedimentos cirúrgicos ter uma visão completa da via aérea; por essa razão, prefere-se não intubar (em cirurgia laríngea) o paciente e utilizar uma técnica de anestesia geral com ventilação espontânea controlada pelo anesthesiologista e monitorada, continuamente, com vídeo, estetoscópio precordial e monitores dos sinais vitais (pode-se colocar a sonda anestésica através do nariz ou boca, ao nível da hipofaringe). Para estes procedimentos, uma indução anestésica com sevoflurano e óxido nitroso com 21% de ar de oxigênio administrado por máscara facial é a preferida. A anestesia geral é administrada por infusão intravenosa de propofol e remifentanil. A ventilação espontânea é mantida durante o procedimento. A via aérea superior é pulverizada com xilocaína 4%⁹.

Com a equipe e equipamentos de cirurgia robótica, o cirurgião tem a capacidade de manipular os instrumentos em sua extremidade distal, com grande precisão, maior liberdade de movimento, ampliação do campo cirúrgico e excelente percepção de profundidade em 3 dimensões. O tamanho dos instrumentos pode ser um fator limitante em termos de implementação e sucesso da cirurgia transoral da via aérea, devido ao espaço restrito. Acreditamos que os novos avanços na tecnologia de dispositivos e uma nova geração de equipamentos robóticos melhorarão sua incorporação em cirurgia endoscópica minimamente invasiva. É importante notar que qualquer procedimento feito com este arsenal deve ser documentado com fotografia e vídeo para obter *feedback* para a equipe cirúrgica e outro par de equipe, melhorando, assim, sua técnica, bem como para ser usado para fins de treinamento educacional¹⁰.

Inicialmente, a colocação e configuração da equipe cirúrgica robótica na sala de cirurgia pode levar de 30 a 40 minutos. Com a prática cada vez mais frequente, é possível reduzir esse tempo para 5 minutos. O laser de dióxido de carbono é ajustado a 3 W, em intervalos intermitentes de 0,3 segundo para trabalhar na mucosa respiratória. As suturas comumente usadas são de material absorvível 5-0 e 6-0 (poliglactina *Vicryl*®). Um cateter de sucção flexível é colocado no campo cirúrgico e pode ser facilmente manipulado com um dos instrumentos robóticos, ou poderá ser colocado um irrigador de sucção integrado, em um dos braços do robô.

A maioria dos cirurgiões das vias aéreas prefere dois tipos de equipamentos para a exposição das vias aéreas superiores: o laringoscópio Lindholm e a mordaca Crowe-Davis. O primeiro fornece o acesso mais direto, introduzindo o endoscópio no laringoscópio e os braços do robô na cavidade oral em ambos os lados do laringoscópio, mas tem a desvantagem de restringir as manobras dos instrumentos devido ao pequeno espaço na área de trabalho. O segundo proporciona maior exposição do campo cirúrgico e maior liberdade de movimento dos braços cirúrgicos.

A hipofaringe e a supraglote são completamente visualizadas com os endoscópios de 8 e 12 mm de 0°, sendo preferível o endoscópio de 30° para a glote; em ambos os casos, com escopo de visão bi e tridimensional e microinstrumentos de 5 mm. A capacidade de ampliar e reduzir o endoscópio no campo cirúrgico proporciona uma ampliação e precisão adequadas.

As principais indicações e aplicações da cirurgia robótica nas vias aéreas são:

1. Malformações congênitas como as fissuras laríngeas Tipo 1 e 2;
2. Estenose glótica posterior;

3. Hamartomas;
4. Cistos saculares;
5. Liberação da estenose faríngea e laríngea;
6. Malformações linfáticas;
7. Cordectomia parcial e aritenoidectomia;
8. Tonsilectomia lingual;
9. Lesões vasculares;
10. Tumores

A cirurgia robótica na área de vias aéreas superiores é documentada em pacientes neonatais, a partir de 14 dias de vida ou mais, com internação hospitalar que variam de 1 a 20 dias, sendo acompanhados durante 2 anos. A abordagem oral tem a vantagem de ser um caminho natural, mas a limitação do tamanho da abertura do orifício natural pela idade, dificulta a introdução simultânea de vários instrumentos, em uma única via. Além disso, a manipulação cervical em determinados pacientes, como aqueles com trissomia do 21, mucopolissacaridose, síndromes craniofaciais e outras patologias, pode causar algum grau de lesão à coluna cervical (síndrome de Grisel ou subluxação atlanto-axial). Apesar do tempo cirúrgico ser de 30 a 40 minutos maior que sem o uso do sistema de robô, a evolução pós-cirúrgica é geralmente menos sintomática e com complicações menos frequentes. O tempo cirúrgico diminui significativamente com a prática, superando a curva de aprendizado^{11,12}

O FDA e outras agências de saúde em todo o mundo mantêm pendentes a aprovação de mais aplicações em Cirurgia Robótica de Otorrinolaringologia Pediátrica, atualmente ainda não aprovadas para menores de 12 anos de idade. Há dois grandes desafios a serem superados: uma maneira mais segura de administrar a anestesia e uma exposição melhor da área cirúrgica. Ambos provavelmente serão resolvidos em um futuro próximo.

Conclusão

A cirurgia robótica é uma tecnologia em desenvolvimento que gerou uma controvérsia significativa no campo da cirurgia e dos cuidados de saúde. Embora ainda em sua infância, a cirurgia robótica é um desenvolvimento de ponta em cirurgia, que terá, sem dúvidas, implicações de longo alcance. Enquanto melhora a precisão e destreza, esta tecnologia emergente permite aos cirurgiões executar cirurgias que tradicionalmente não eram passíveis por meio de técnicas com acesso mínimo.

É importante lembrar que os procedimentos realizados com o sistema robótico não são cirurgias novas; os procedimentos cirúrgicos permanecem os mesmos que os realizados com técnicas abertas ou outras técnicas minimamente invasivas, mas com o benefício adicional de incisões menores, dano tecidual menor, bem como menor perda sanguínea, redução da dor e recuperação mais rápida.

Até agora, o desejo de adquirir e incorporar essa tecnologia tem sido impulsionado principalmente pela indústria e pelo *marketing*, porém não por evidências científicas fortes, já que ensaios randomizados controlados comparando procedimentos assistidos por robôs com outras técnicas minimamente invasivas ou abertas são escassos ou, em geral, inexistentes.

Muito trabalho ainda precisa ser feito para realizar todo o potencial dessa tecnologia emergente, minimamente invasiva, pois ainda faltam mais estudos neste sentido. Sistemas mais compactos e eficientes que ofereçam *feedback* tátil, a uma fração do custo atual, certamente ampliarão a aplicação dessa tecnologia inovadora.

Semelhante aos robôs, na cultura popular, o futuro dos robôs nas cirurgias é limitado apenas pela nossa imaginação.

Referências bibliográficas

1. Rosheim M. Leonardo's Lost Robots. Springer, 2nd Ed. 2006.
2. Capek Karel (2001). R.U.R.. translated by Paul Selver and Nigel Playfair. Dover Publications.
3. Asimov, I. Runaround, Astounding Science 1942.
4. Kroh M, Chalikhonda, S. (Eds). Essentials of Robotic Surgery, History and Current Systems in Robotic Surgery, Ryan Heidi, Tsuda Shawn, 1-12. Springer, Switzerland, 2015.
5. Jani K, Rajan P, Sendhikumar K, Palanivelau. C. Twenty years after Erich Muhe: Persisting controversies with the gold standard of laparoscopic cholecystectomy, J Minim Access Surg 2006, 2(2) 49-58.
6. Schneeberger E, Michler R. An overview of the Intuitive system: The surgeon's perspective. Op Tech Thorac Cardiovasc Surg. 2001;6:170-176.
7. Bethea B, Okamura A, Kitagawa M, Cattaneo S, Gott V, Baumgartner W, Yuh D. J Laparosc Adv Surg Tech A. 2004 Jun; 14(3): 191-195.
8. Reza R, Lynne R.F, Joseph GB, Craig AP. Robotic Surgery in the Pediatric Airway: : Application and Safety Otolaryng. Arch otol Head Neck Surg. 2007;133(1):46-50.
9. Thottam PJ, Govil N, Duvvuri U, Mehta D. Transoral robotic surgery for sleep apnea in children: Is it effective? Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2015;79(12):2234-7.
10. Sperry SM, O'Malley BW Jr, Weinstein GS. The University of Pennsylvania curriculum for training Otorhinolaryngology residents in transoral robotic surgery ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec. 2014;76(6):342-52.
11. Ferrell JK, Roy S, Kami RJ, Yuksel S. Applications for transoral robotic surgery in the pediatric airway Laryngoscope. 2014;124(11):2630-5.
12. Roy S, Smith B. Robotic Surgery in Pediatric Otolaryngology. Int J Head Neck Surg 2016;7(2):120-123.