

## ATUALIDADES E PERSPECTIVAS EM NEUROCIRURGIA ROBÓTICA

*Data de submissão: 13/01/2023*

*Data de aceite: 01/03/2023*

### **Maria Clea Marinho Lima**

Universidade Federal de Pernambuco  
(UFPE)  
Recife - Pernambuco - Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0538252117715140>  
<https://orcid.org/0000-0003-3250-0053>

### **Giovanni Silveira Maioli**

Universidade de Aquino (UDABOL)  
Santa Cruz de la Sierra - Santa Cruz -  
Bolívia  
<https://orcid.org/0000-0002-4658-553X>

### **Ernesto Gomes da Silva Neto**

Universidade Maria Serrana (UMS)  
Cidade do Leste - Alto Paraiso - Paraguai  
<http://lattes.cnpq.br/2243544916421186>  
<https://orcid.org/0000-0002-3578-1949>

### **Joana D'arc Oliveira de Mendonça**

Faculdade Pernambucana de Saúde  
(FPS)  
Recife - Pernambuco - Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7154292647724237>  
<https://orcid.org/0000-0001-6406-4116>

robôs médicos estão sendo cada vez mais utilizados para diversos fins como: entregar medicamentos e refeições nos quartos dos pacientes, integrar com sucesso muitos programas de reabilitação cirúrgica e neurológica e cooperar na limpeza emitindo raios UV. **OBJETIVO:** Fornecer uma visão mais ampla das perspectivas e atualidades em neurocirurgia robótica para os profissionais familiarizados quanto para aqueles que buscam maior familiaridade.

**METODOLOGIA:** Trata-se de uma revisão integrativa realizada através da busca nas bases de dados Medline, Pubmed, Lilacs e Scopus, utilizando os seguintes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) da Biblioteca Virtual em Saúde “Neurosurgery” AND “Robotics”. Dentre os critérios de inclusão, enquadraram-se estudos de revisão Free Full Text dos últimos cinco anos relacionados à neurocirurgia e robótica, nos idiomas inglês, espanhol e português. Foram eleitos 16 artigos após a leitura do título e do resumo. **RESULTADOS:** Existem poucos estudos que avaliam a viabilidade clínica de diferentes robôs neurocirúrgicos que diferem na sua arquitetura, técnicas de registro disponíveis e interação com o utilizador. Os resultados desses estudos mostraram que a aplicação de robôs

**RESUMO: INTRODUÇÃO:** Em 1920 o termo “robô” foi derivado da palavra checa “robota” que significa trabalho ou servidão, aparecendo pela primeira vez em uma peça do escritor checo Karel Čapek. Os

em procedimentos neurocirúrgicos do cérebro e da coluna vertebral é fiável, com elevada eficácia e segurança. **CONCLUSÃO:** Para manter os padrões éticos e morais dos cuidados neurocirúrgicos, a adoção de técnicas cirúrgicas robóticas de ponta necessita de um equilíbrio tático, um reexame das propriedades médico-legais e dos conceitos éticos melhora os resultados e eleva os padrões de cuidados. Portanto complexidades legais e preocupações éticas descabidas podem impedir o crescimento do espectro da cirurgia robótica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Neurocirurgia Robótica, Atualidades, Revisão.

## ACTUALITIES AND PERSPECTIVES IN ROBOTIC NEUROSURGERY

**ABSTRACT: INTRODUCTION:** In 1920 the term “robot” was derived from the Czech word “robota” meaning labor or servitude, first appearing in a play by Czech writer Karel Čapek. Medical robots are increasingly being used for various purposes such as: delivering medicines and meals to patients’ rooms, successfully integrating many surgical and neurological rehabilitation programs, and cooperating in cleaning by emitting UV rays. **OBJECTIVE:** To provide a broader view of the perspectives and current issues in robotic neurosurgery for both familiar professionals and those seeking more familiarity. **METHODOLOGY:** This is an integrative review carried out by searching Medline, Pubmed, Lilacs and Scopus databases, using the following Descriptors in Health Sciences (DeCS) of the Virtual Health Library “Neurosurgery” AND “Robotics”. The inclusion criteria included Free Full Text review studies from the last five years related to neurosurgery and robotics, in English, Spanish and Portuguese. Sixteen articles were chosen after reading the title and abstract. **RESULTS:** There are few studies evaluating the clinical feasibility of different neurosurgical robots that differ in their architecture, available recording techniques, and user interaction. The results of these studies showed that the application of robots in neurosurgical procedures of the brain and spine is reliable, with high efficacy and safety. **CONCLUSION:** To maintain ethical and moral standards of neurosurgical care, the adoption of cutting-edge robotic surgical techniques needs a tactful balance, a reexamination of medico-legal properties and ethical concepts improves outcomes and raises standards of care. Therefore legal complexities and misplaced ethical concerns may impede the growth of the spectrum of robotic surgery. **KEYWORDS:** Robotic Neurosurgery, Updates, Review.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 O que é um robô?

Em 1920 o termo “robô” foi derivado da palavra checa “robota” que significa trabalho ou servidão, aparecendo pela primeira vez em uma peça do escritor checo Karel Čapek, intitulada R.U.R (Rossum’s Universal Robots). Segundo o Robot Institute of America (RIA) o robô foi definido como um manipulador, multifuncional e reprogramável, fabricado com a finalidade de mover dispositivos especializados (ferramentas, peças e materiais) através movimentos programados para desempenhar uma variedade de tarefas (Mendes Pereira V et al. 2020).

Com uma popularidade crescente, a robótica médica representa 8% de todas as

vendas mundiais de robôs para serviços profissionais (20% entre 2011 a 2013), devendo-se principalmente a uma procura crescente no campo da cirurgia assistida por robôs. Os robôs médicos estão sendo cada vez mais utilizados para diversos fins como: entregar medicamentos e refeições nos quartos dos pacientes, integrar com sucesso muitos programas de reabilitação cirúrgica e neurológica e cooperar na limpeza emitindo raios UV (Albuquerque FC, Hirsch JA, Chen M, Fiorella D, 2020).

Nos primeiros meses de 2020 foram publicados 3 estudos mostrando a segurança e a viabilidade do enrolamento de aneurisma assistido por robô, stent carotídeo e angiografia de diagnóstico. Os robôs estão claramente em ascensão e os líderes no campo da neurointervenção pensaram em quadros éticos e médicos legais adequados no espaço de trabalho, com o objetivo de assegurar uma integração segura e suave (Nogueira RG et al. 2020).

De fato, já foram realizadas as primeiras interações neurovasculares eletivas assistidas por robôs. Com a adoção contínua da tecnologia (evolução natural), mentoria e com o emprego do conceito de plataformas Piggyback, o neurointervencionista estagiário no local remoto está ligado ao perito através de dispositivos táteis, permitindo ao perito assumir o controle do procedimento enquanto o estagiário aprende em um ambiente intuitivo e imerso, possibilitando que a experiência e a curva de aprendizagem possam ser quantificadas e registradas (Kreiser K et al. 2020).

A capacidade de quantificar o desempenho do operador é uma das principais vantagens de um sistema robótico mestre-escravo: a gama de forças que o operador exerce manobrando um catéter dentro da patologia ou do lúmen vascular e quais são os movimentos (graus de liberdade) do operador ao executar uma tarefa endovascular (Sugiyama T, Lama S, Gan LS, 2018).

## **1.2 A história e a evolução da cirurgia robótica**

O robô industrial (PUMA, Unimation) foi utilizado em 1985 em uma neurocirurgia para guiar cânulas de biópsia sob orientação de tomografia computadorizada (TC), melhorando a precisão e reduzindo o tempo do procedimento em comparação com uma estrutura ajustável manualmente. Neuromate, foi o primeiro robô neurocirúrgico comercial (Figura 1) que teve aplicações na ressecção de tumores, estimulação cerebral profunda (ECP), esteroeletroencefalografia (SEEG) e biópsias assistidas (George EI, Brand TC, LaPorta A, Marescaux J, Satava RM, 2018).



Figura 1: robô neuromate da Renishaw foi aprovado em 2014 pela FDA para procedimentos cranianos, podendo ser utilizado em procedimentos estereotáxicos, como a Estimulação Cerebral Profunda (ECP) e a Estereoeletroencefalografia (SEEG). Fonte: The Path to Surgical Robotics in Neurosurgery, Neurosurgery20(6):514-520, June 2021. Renishaw, Wootton-under-Edge, UK.

Segundo (Payne CJ, Dwyer G, Dimitrakakis E, Marcus HJ, 2021) os sistemas robóticos são divididos em diferentes categorias de acordo com a arquitetura (série ou paralelo) e a interação do utilizador (telecirúrgico, controle partilhado ou de supervisão). Essas especificações técnicas não determinam o fluxo do trabalho clínico, da imagem à cirurgia, embora definam uma gama de aplicações do robô (neuroendoscopia, colocação de parafusos pediculares e implantações estereoeletroencefalográficas (SEEG).

Os sistemas robóticos (fluxo de trabalho clínico) são determinados essencialmente pelo processo de registro e software. Por exemplo, a visualização (3D e VR) e a ressonância magnética (MRI, PET, DTI, MEG, TMS, EEG, connectomes, atlas) determinam o registro dos processos dentro da sala de operações e o fluxo de trabalho fora da sala de operações (capacidade do software para integração dos dados multimodais (Payne CJ, Dwyer G, Dimitrakakis E, Marcus HJ, 2021).

Em 2017 foram desenvolvidos 10 robôs para neurocirurgia estereotáxica (Fomenko A, Serletis D, 2018). Após 30 anos do primeiro robô cirúrgico, estão disponíveis para um maior aprofundamento, várias revisões fornecendo informações mais completas sobre a história da robótica cirúrgica, listas atualizadas de robôs cirúrgicos e tópicos mais gerais da cirurgia integrada por computador (Peters BS, Armijo PR, Krause C, Choudhury SA, Oleynikov D, 2018).

Os robôs executam tarefas repetitivas, tecnicamente difíceis, com elevado grau de precisão, tornando-os adequados com a finalidade de intervenções neurocirúrgicas. Os sistemas robóticos simplificaram o processo de inserção de eletródo SEEG no campo da neurocirurgia funcional, eliminando a manipulação de sistemas de armação, coordenadas de arco e da interpretação humana, melhorando a precisão e a redução de erros alvos (Zygourakis CC, Ahmed AK, Kalb S, et al, 2018).

Os robôs são adaptados para a realização da Estimulação Cerebral Profunda (ECP),

com alvos profundos e precisão de sub-milímetros. O uso da robótica na neurocirurgia endovascular demonstra que muitos procedimentos podem ser realizados à distância com sucesso e aplicabilidade no futuro próximo para intervenções no acidente vascular cerebral agudo (AVE) alcançando nos pacientes melhores resultados funcionais (Sajja KC, Sweid A, Al Saiegh F, et al, 2020).

Na cirurgia de coluna vertebral, foram criados sistemas robóticos que permitem o planejamento pré-operatório de trajetórias de parafusos pediculares, proporcionando assim ao cirurgião a capacidade de colocar instrumentos de forma automatizada com um elevado grau de precisão. (Zygourakis CC, Ahmed AK, Kalb S, et al, 2018).

## **2 | OBJETIVO**

Fornecer uma visão mais ampla das perspectivas e atualidades em neurocirurgia robótica para os profissionais familiarizados quanto para aqueles que buscam maior familiaridade.

## **3 | METODOLOGIA**

Trata-se de uma revisão integrativa realizada através da busca nas bases de dados Medline, Pubmed, Lilacs e Scopus, utilizando os seguintes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) da Biblioteca Virtual em Saúde “Neurosurgery” AND “Robotics”. Dentre os critérios de inclusão, enquadraram-se estudos de revisão Free Full Text dos últimos cinco anos relacionados à neurocirurgia e robótica, nos idiomas inglês, espanhol e português. Foram eleitos 16 artigos após a leitura do título e do resumo.

## **4 | RESULTADOS**

Existem poucos estudos que avaliam a viabilidade clínica de diferentes robôs neurocirúrgicos que diferem na sua arquitetura, técnicas de registro disponíveis e interação com o utilizador. Os resultados desses estudos mostraram que a aplicação de robôs em procedimentos neurocirúrgicos do cérebro e da coluna vertebral é fiável, com elevada eficácia e segurança. Porém, os sistemas robóticos avaliados apontaram grandes diferenças na eficiência do seu fluxo de trabalho processual (procedural workflow), podendo afetar a aceitação da robótica na rotina diária neurocirúrgica (Machetanz K et al. 2020).

Foi descrito nas cirurgias SEEG uma diminuição do tempo, além disso, os sistemas robóticos modernos permitem procedimentos adicionais em neurocirurgias, como ablação a laser e neuroendoscopia. As biópsias intracranianas, SEEG, estimulação cerebral profunda (ECP), neuroendoscopia, colocação de parafusos no pedículo espinhal são empregados pelo sistema robótico para diferentes procedimentos cirúrgicos e a relação custo-eficácia é

potencialmente concebível (Fiani B, Quadri SA, Farooqui M, et al, 2020).

Utilizando um robô em um estudo com 15 biópsias de lesões do tronco encefálico, foi alcançado um rendimento diagnóstico de 87%. Marcus et al. 2018 em outra meta-análise com 328 biópsias cerebrais assistidas por robôs relataram uma taxa de sucesso de 75% a 100%. Promovendo uma forma controlada de operação, o braço robótico melhora a dissecação do tecido cerebral, proporcionando precisão e orientação das estruturas intracranianas, com excelentes resultados clínicos auxiliando no desempenho das biópsias (Marcus et al. 2018).

Philipp et al. 2021 realizaram uma meta-análise recente abrangendo 6,056 trajetórias, determinando a associação de uma maior precisão e redução do erro alvo da estereotáxia assistida por robô. A infatigável capacidade dos robôs executarem tarefas repetitivas e complicadas, frequentemente susceptíveis de erro humano é a razão pela ampla utilização na neurocirurgia funcional (Philipp et al. 2021).

Existe associada à aquisição e implementação de sistemas robóticos, um custo inicial elevado que deve ser ponderado. Vários estudos corroboram com a viabilidade da utilização de plataformas robóticas em neurocirurgia, resultando em excelente desempenho cirúrgico, resultados clínicos desejáveis e tempos operatórios mais curtos (Fiani B, Quadri SA, Farooqui M, et al, 2020).

A introdução de novas tecnologias na prática neurocirúrgica exige esforço e tempo necessário para aprender e incorporar o sistema na sala de cirurgias sem intercorrências (limitação inerente), tendo impacto no fluxo de trabalho, bem como na formação de neurocirurgiões. Para acomodar os sistemas robóticos e seu equipamento associado, os blocos cirúrgicos poderão ser renovados e a fidelidade do robô para executar a tarefa planejada depende de um co-registro adequado de imagens pré e intra-operatórias como: anatomia do paciente e feedback em tempo real alertando para um possível mau funcionamento ou desvio (Ho AL, Muftuoglu Y, Pendharkar AV, et al, 2018).

## 5 | CONCLUSÃO

A robótica para a neurointervenção está dando seus primeiros passos, com experiência inicial promissora em ambientes altamente controlados por operadores experientes e qualificados. Os benefícios dos robôs neurointervencionistas são gigantescos e com as novas tecnologias serão mais modernos e refinados, encontrando seu caminho na rotina clínica. A robótica e a inteligência da máquina preparam o caminho para métricas quantificáveis no sentido da padronização. Os futuros avanços da tecnologia robótica exigirá uma melhor compreensão, assegurando uma formação abrangente e padronizada (curva de aprendizagem inicialmente íngreme), uma vez que as intervenções assistidas por robôs não serão exceção.

Para manter os padrões éticos e morais dos cuidados neurocirúrgicos, a adoção

de técnicas cirúrgicas robóticas de ponta necessita de um equilíbrio tático, um reexame das propriedades médico-legais e dos conceitos éticos melhora os resultados e eleva os padrões de cuidados. Portanto complexidades legais e preocupações éticas descabidas podem impedir o crescimento do espectro da cirurgia robótica.

## REFERÊNCIAS

Payne CJ, Dwyer G, Dimitrakakis E, Marcus HJ. **Basic concepts in robotics. Neuromethods. HumanaPressInc.**;2021;162:3-34.

Machetanz K, Grimm F, Schuhmann M, Tatagiba M, Gharabaghi A, Naros G. Time efficiency in stereotactic robot-assisted surgery: an appraisal of the surgical procedure and surgeon's learning curve. **Stereotact Funct Neurosurg.** 2020;99: 25- 33. Published online October 5.

Fomenko A, Serletis D. Robotic stereotaxy in cranial neurosurgery: a systematic qualitative review. **Neurosurgery.** 2018;83(4):642-650.

Peters BS, Armijo PR, Krause C, Choudhury SA, Oleynikov D. Review of emerging surgical robotic technology. **Surg Endosc.** 2018;32(4):1636-1655.

George EI, Brand TC, LaPorta A, Marescaux J, Satava RM. Origins of robotic surgery: from skepticism to a standard of care. **JLS.** 2018;22(4):e2018.00039.

Sajja KC, Sweid A, Al Saiegh F, et al. Endovascular robotic: feasibility and proof of principle for diagnostic cerebral angiography and carotid artery stenting. **J Neurointerv Surg.** 2020;12(4):345-349.

Zygourakis CC, Ahmed AK, Kalb S, et al. Technique: open lumbar decompression and fusion with the Excelsius GPS robot. **Neurosurg Focus.** 2018;45(VideoSuppl1):V6.

Fiani B, Quadri SA, Farooqui M, et al. Impact of robot-assisted spine surgery on health care quality and neurosurgical economics: a systemic review. **Neurosurg Rev.** 2020;43(1):17-25.

Ho AL, Muftuoglu Y, Pendharkar AV, et al. Robot-guided pediatric stereoelectroencephalography: a single-institution experience. **J Neurosurg Pediatr.** 2018;22(5):489-496.

Mendes Pereira V, Cancelliere NM, Nicholson P, Radovanovic I, Drake KE, Sungur JM, Krings T, Turk A. First-in-human, robotic-assisted neuroendovascular intervention. **J Neurointerv Surg.** 2020;12:338-40.

Marcus HJ, Vakharia VN, Ourselin S, Duncan J, Tisdall M, Aquilina K. Robot-assisted stereotactic brain biopsy: a systematic review and bibliometric analysis. **Childs Nerv Syst.** 2018;34(7):1299-1309.

Philipp LR, Matias CM, Thalheimer S, Mehta SH, Sharan A, Wu C. Robot-assisted stereotaxy reduces target error: a meta-analysis and meta-regression of 6056 trajectories. **Neurosurgery.** 2021;88(2):222-233.

Albuquerque FC, Hirsch JA, Chen M, Fiorella D. Robotics in neuro intervention: the promise and the reality. **J Neurointerv Surg.** 2020;12:333-4.

Nogueira RG, Sachdeva R, Al-Bayati AR, Mohammaden MH, Frankel MR, Haussen DC. Robotic-assisted carotid artery stenting for the treatment of symptomatic carotid disease: technical feasibility and preliminary results. **J Neurointerv Surg.** 2020;12:341-4.

Sugiyama T, Lama S, Gan LS. Forces of tool-tissue interaction to assess surgical skill level. **JAMA Surg.** 2018;153:234–42.

Kreiser K, Ströber L, Gehling KG, Schneider F, Kohlbecher S, Schulz CM, Zimmer C, Kirschke JS. Simulation training in neuroangiography-validation and effectiveness. **Clin Neuroradiol.** 2020.