

Neurologia

DIAGNÓSTICOS, TRATAMENTOS E CIRURGIAS

Edição X

CAPÍTULO 13

DOI

10.59290/0022906252

AVANÇOS E DESAFIOS DAS CIRURGIAS ROBOTIZADAS EM NEUROLOGIA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

JULIA SOARES FONTANA GUIMARÃES¹

¹*Universidade Anhembi Morumbi.*

Palavras-chave: Cirurgias Robotizadas; Neurologia; Tecnologia.

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

A cirurgia robótica tem ganhado crescente atenção nos últimos anos, especialmente diante do aumento da incidência de doenças neurológicas e da busca por técnicas menos invasivas, mais eficazes e seguras.

Estima-se que mais de 22 milhões de pessoas ao redor do mundo sejam afetadas por distúrbios neurológicos graves, muitos dos quais requerem intervenção cirúrgica.

No Brasil, doenças como epilepsia, tumores cerebrais, lesões traumáticas e doenças degenerativas têm impulsionado a necessidade por abordagens neurocirúrgicas cada vez mais precisas.

Dados da *Allied Market Research* indicam que o mercado global de cirurgia robótica deve alcançar mais de US\$ 15 bilhões até 2027, com crescimento acelerado especialmente nas especialidades de neurologia e ortopedia. Tais projeções demonstram a relevância da incorporação de sistemas robóticos na prática neurocirúrgica contemporânea.

A cirurgia robótica representa uma inovação disruptiva na medicina moderna, proporcionando maior controle intraoperatório, precisão micrométrica e segurança em procedimentos de alta complexidade.

No contexto da neurologia, tecnologias como os sistemas *ROSA®*, *NeuroMate®* e *Mazor X®* têm revolucionado a abordagem cirúrgica de patologias intracranianas e espinhais.

Além de favorecerem a realização de técnicas minimamente invasivas, essas ferramentas permitem uma integração eficiente com sistemas de imagem e navegação, promovendo melhor planejamento cirúrgico e menores taxas de complicações.

Historicamente, o desenvolvimento da cirurgia assistida por computador iniciou-se na década de 1980 com sistemas estereotáxicos

manuals e evoluiu rapidamente para plataformas robóticas autônomas e híbridas. Essa evolução reflete o esforço multidisciplinar entre engenheiros, médicos e pesquisadores para aprimorar a eficácia cirúrgica.

Esta revisão objetiva explorar os avanços recentes no campo da neurocirurgia robótica, destacando os benefícios clínicos e técnicos, além de discutir os principais entraves para sua ampla adoção, incluindo aspectos econômicos, educacionais, regulatórios e éticos.

Ao analisar a literatura disponível sobre o tema, busca-se oferecer uma visão crítica e atualizada sobre o panorama da cirurgia robótica na neurologia, contribuindo para o debate sobre sua eficácia, limitações e perspectivas futuras.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, elaborada com o objetivo de sintetizar os principais avanços e desafios relacionados à aplicação da cirurgia robótica em neurologia.

Foram realizadas buscas sistemáticas nas bases de dados PubMed, Scopus, Embase e *Web of Science*, abrangendo o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2023.

Os descritores utilizados, em inglês, foram: "*robotic neurosurgery*", "*robot-assisted brain surgery*", "*minimally invasive neurosurgery*", "*deep brain stimulation*" e "*spinal robotic surgery*". Utilizou-se o operador booleano "AND" para combinar termos e refinar os resultados.

Foram incluídos artigos científicos originais, revisões sistemáticas e estudos de coorte publicados em inglês, português e espanhol, desde que abordassem aspectos técnicos, clínicos, éticos ou econômicos relacionados à neurocirurgia robótica.

Foram excluídos estudos experimentais com animais, revisões sem fundamentação empírica, relatos de caso isolados e artigos duplicados.

No total, 45 artigos foram inicialmente identificados, sendo 22 selecionados após análise de título, resumo e texto completo, de acordo com os critérios de inclusão.

Os dados extraídos abrangeram os seguintes eixos: (I) plataformas robóticas utilizadas, (II) tipos de procedimentos neurológicos abordados, (III) benefícios clínicos e técnicos reportados, (IV) limitações e barreiras à implementação, e (V) perspectivas futuras.

A presente revisão não teve caráter sistemático e não seguiu protocolo PRISMA, o que pode representar uma limitação quanto à reprodutibilidade. No entanto, foi conduzida com rigor metodológico e foco na abrangência temática, visando compilar informações relevantes e atualizadas para a discussão crítica sobre a aplicabilidade da cirurgia robótica em neurologia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Benefícios Clínicos

As plataformas robóticas possibilitam uma execução mais segura e eficiente dos procedimentos. Estudos como os de González-Martínez *et al.* (2014) e Benabid *et al.* (2012) demonstraram que a cirurgia robótica:

Aumenta a eficácia da colocação de eletrodos com margem de erro inferior a 1 mm; diminui o tempo de internação pós-operatória em até 30%; reduz em 40% a necessidade de reintervenção em cirurgias espinhais complexas; melhora a experiência do paciente quanto à dor, cicatrização e reabilitação.

Além disso, os sistemas robóticos auxiliam no treinamento de residentes e cirurgiões menos experientes, oferecendo ambientes de simulação e repetibilidade que contribuem para o aprendizado técnico com maior segurança.

Os estudos revisados apresentam um consenso sobre os benefícios clínicos e técnicos da cirurgia robótica na neurologia, especialmente no que tange à precisão e segurança.

No entanto, também evidenciam disparidades na adoção entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto nos EUA e Europa plataformas como *ROSA®* e *NeuroMate®* são amplamente utilizadas, na América Latina sua implementação ainda é incipiente.

Outro ponto de destaque é a curva de aprendizado exigida para operar os sistemas robóticos, que demanda treinamento intensivo e contínuo. Essa barreira educacional é agravada pela carência de programas estruturados de capacitação em hospitais de menor porte e universidades fora dos grandes centros.

Além disso, a ausência de protocolos clínicos padronizados e a variabilidade entre operadores dificultam a reprodutibilidade de resultados e limitam a comparação entre abordagens.

Isso se reflete em estudos que ainda questionam a real superioridade da cirurgia robótica frente às técnicas convencionais, especialmente em termos de custo-benefício.

Do ponto de vista ético, a introdução da robótica exige diretrizes claras sobre responsabilidade médica em caso de falhas técnicas, bem como sobre a necessidade de consentimento informado ampliado, que aborde os riscos tecnológicos envolvidos.

Há também implicações legais em torno do uso de sistemas parcialmente autônomos, especialmente quando integrados a algoritmos de inteligência artificial.

A integração futura da neurocirurgia robótica com tecnologias emergentes como realidade aumentada, sensores hápticos e telecirurgia promete ampliar ainda mais sua aplicabilidade. Tais avanços poderão viabilizar cirurgias remotas, especialmente em regiões de difícil acesso, promovendo maior equidade no atendimento.

No entanto, essa expansão tecnológica deve ser acompanhada de políticas públicas eficazes

que garantam financiamento, regulamentação e democratização do acesso.

CONCLUSÃO

A cirurgia robótica representa um marco evolutivo na neurocirurgia contemporânea, promovendo avanços clínicos e tecnológicos significativos.

Sua eficácia tem sido comprovada em diversas aplicações, com destaque para a redução de complicações, melhoria dos desfechos e maior precisão cirúrgica.

No entanto, sua consolidação como padrão terapêutico ainda depende da superação de desafios estruturais, econômicos e educacionais.

A tendência é que, com o barateamento da tecnologia e maior capacitação profissional, a robótica se torne ferramenta essencial na prática neurocirúrgica moderna.

É fundamental que universidades e centros de formação médica incluam em seus currículos disciplinas voltadas ao uso de tecnologias robóticas.

O desenvolvimento de políticas públicas de financiamento, bem como incentivos à pesquisa aplicada, são essenciais para reduzir desigualdades no acesso.

Do ponto de vista ético, a criação de diretrizes claras sobre responsabilidade em falhas operacionais será imprescindível no cenário futuro, onde a automação será ainda mais presente.

Dessa forma, a cirurgia robótica não apenas simboliza o progresso técnico da medicina, mas também um desafio social, educacional e político que deve ser enfrentado com seriedade e visão estratégica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENABID, A. L.; TORRES, N. New prospects for deep brain stimulation [Novas perspectivas para estimulação cerebral profunda]. *Nature Reviews Neurology*, v. 8, n. 7, p. 391–400, 2012. doi:10.1038/nrneurol.2012.113.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, J. *et al.* Robot-assisted stereotactic laser ablation in epilepsy [Ablação estereotáxica a laser assistida por robô na epilepsia]. *Neurosurgery*, v. 10, supl. 2, p. 167–172, 2014. doi:10.1227/NEU.0000000000000303.
- MARCUS, H. J. *et al.* Technical innovation in neurosurgery [Inovação técnica em neurocirurgia]. *Journal of Neurosurgery*, v. 122, n. 2, p. 396–405, 2015. doi:10.3171/2014.10.JNS132312.
- MAMELAK, A. N.; BERCI, G. Clinical experience with exoscope in microneurosurgery [Experiência clínica com exoscópio em microneurocirurgia]. *Neurosurgery*, v. 67, n. 2, p. 476–483, 2010. doi:10.1227/01.NEU.0000371979.10045.3E.
- SUTHERLAND, G. R. *et al.* The evolution of neuroArm [A evolução do neuroArm]. *Neurosurgery*, v. 72, supl. 1, p. 27–32, 2013. doi:10.1227/NEU.0b013e318276edbb.
- DARR, A. *et al.* Ethical considerations in robotic surgery [Considerações éticas na cirurgia robótica]. *BMJ Open*, v. 10, p. e038430, 2020. doi:10.1136/bmjopen-2020-038430.
- YANG, G. Z. *et al.* Medical robotics—Regulatory challenges and future directions [Robótica médica – desafios regulatórios e direções futuras]. *Science Robotics*, v. 7, n. 67, p. eabo6780, 2022. doi:10.1126/scirobotics.abo6780.
- SMITH, T. R. *et al.* The Role of Robotics in Modern Neurosurgery [O papel da robótica na neurocirurgia moderna]. *Neurosurgery Clinics of North America*, v. 31, n. 4, p. 511–523, 2020. doi:10.1016/j.nec.2020.05.001.
- LANGHANS, M. *et al.* Robot-assisted neurosurgery: A review of technological development [Neurocirurgia assistida por robôs: uma revisão do desenvolvimento tecnológico]. *Frontiers in Neurology*, v. 12, p. 678513, 2021. doi:10.3389/fneur.2021.678513.
- KWOH, Y. S. *et al.* A robot with improved absolute positioning accuracy for CT-guided stereotactic brain surgery [Um robô com precisão absoluta aprimorada para cirurgia estereotáxica cerebral guiada por tomografia computadorizada]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 35, n. 2, p. 153–160, 1988. doi:10.1109/10.1354.