

The image depicts a high-tech surgical environment. Several surgeons in blue scrubs and masks are wearing AR headsets. Robotic arms with multiple cameras and sensors are positioned over the surgical area. A translucent digital overlay of a human torso is visible in the center, showing internal organs and skeletal structure. The scene is illuminated with a cool blue and purple light, creating a futuristic atmosphere.

e-book exclusivo

Impacto da IA na prática cirúrgica: Situação atual e perspectivas

Impacto da IA na Prática Cirúrgica: Situação Atual e Perspectivas

A inteligência artificial (IA) vem sendo incorporada em várias etapas do processo cirúrgico, desde o diagnóstico pré-operatório até o suporte intraoperatório e o treinamento. Entre as aplicações atuais destacam-se: planejamento pré-operatório, robótica cirúrgica avançada, auxílio no diagnóstico de imagens, sistemas de predição de risco, apoio em tempo real durante a cirurgia e simuladores educativos. Cada uma dessas aplicações traz benefícios (como maior precisão, padronização e eficiência) mas também desafios (como custos elevados, necessidade de dados de qualidade e questões regulatórias).

- **Planejamento cirúrgico assistido por IA:** Softwares baseados em IA criam modelos anatômicos 3D para simular procedimentos e traçar melhores estratégias operatórias. Tecnologias de realidade aumentada (AR), como óculos cirúrgicos avançados (ex.: Apple Vision Pro), permitem projetar digitalmente a anatomia do paciente no campo cirúrgico ¹. Isso melhora a visualização prévia e pode reduzir erros de planejamento ². Como desafios, exige grande poder computacional, investimento em hardware e validação rigorosa dos modelos.
- **Robótica cirúrgica com IA:** Robôs como o Da Vinci e o novo sistema Hugo (Medtronic) incorporam algoritmos inteligentes para melhorar a precisão dos movimentos, filtrar trepanações e até interpretar imagens intraoperatórias. Algoritmos de processamento de imagens ampliam detalhes anatômicos e identificam margens tumorais durante a operação ² ³. Isso aumenta a precisão das incisões, reduz sangramentos e acelera a recuperação ⁴. Em contrapartida, os equipamentos têm alto custo (milhões de dólares) e demandam extenso treinamento da equipe, além de levantar novas questões de regulamentação e manutenção.
- **Diagnóstico pré-operatório com IA:** Algoritmos de aprendizagem de máquina analisam exames de imagem (TC, ressonância, raio X) para detectar lesões, tumores e fraturas com alta acurácia. Em ortopedia, por exemplo, redes neurais identificam fraturas no joelho com AUC > 0,9 ⁵ ⁶. Em neurocirurgia, classificadores baseados em IA atingiram >85% de precisão na detecção de tumores e hemorragias ⁷. Esses sistemas permitem diagnóstico precoce e planejamento personalizado (cirurgias oncológicas adaptadas, planejamento de implantes). No entanto, dependem de grandes volumes de dados rotulados, podem reproduzir vieses de seus conjuntos de treinamento e precisam de supervisão de especialistas para validação clínica.
- **Avaliação de risco e prognóstico:** Modelos de IA empregam dados clínicos e históricos do paciente para prever complicações e prognóstico cirúrgico. Ao contrário dos escores tradicionais (ASA, ACS), esses modelos podem aprender interações complexas entre variáveis individuais ⁸ ⁹. Por exemplo, sistemas de IA têm identificado corretamente pacientes com alto risco de complicações pós-operatórias a partir de exames e prontuários. Isso auxilia na seleção de pacientes, otimização do pré-operatório e no consentimento informado. Limitações incluem a necessidade de preservar privacidade dos dados, a dificuldade de explicar as decisões da IA ("caixa preta") e assegurar que o modelo não aprenda vieses indesejados ¹⁰.
- **Suporte intraoperatório em tempo real:** Visão computacional e sensores inteligentes fornecem apoio durante a cirurgia. Algoritmos podem reconhecer automaticamente estruturas

anatômicas e alertar o cirurgião sobre marcos importantes (ex.: vasos próximos) ou áreas suspeitas (margens tumorais) ³. Sistemas de instrumentação robótica podem medir força aplicada e compensar tremores. Tudo isso potencializa a segurança e pode reduzir erros humanos. O desafio é integrar tais sistemas sem sobrecarregar o ambiente operatório com alertas falsos (alarmismo) e garantir baixa latência de resposta. Estudos ressaltam a importância de protocolos claros para que o cirurgião saiba quando seguir recomendações geradas pela IA ¹¹.

- **Treinamento e simulação com IA:** Plataformas de simulação cirúrgica evoluem com IA. Exames simulados em realidade virtual (VR) ou aumentada (AR) usam modelos realistas de cenários operatórios. Ferramentas como o *Touch Surgery* e o *Osso VR* empregam IA para oferecer casos virtuais interativos e feedback automático ¹² ¹³. A IA pode avaliar a performance do trainee (tempo de resposta, precisão, segurança) e personalizar o aprendizado. Esses sistemas permitem prática sem risco ao paciente, aumentando a confiança dos residentes. As limitações são custos de implementação, necessidade de validação pedagógica e possível resistência dos instrutores tradicionais.

Aplicação	Exemplos/ Ferramentas	Benefícios	Desafios/Limitações
Planejamento cirúrgico	Modelos 3D pré-op, AR (ex.: Apple Vision Pro) ¹	Melhor visão anatômica, redução de erros de planejamento ²	Alto custo computacional, treinamento em novas tecnologias
Robótica com IA	Robôs Da Vinci, Hugo, Mazor (coluna) ² ¹⁴	Incisões mais precisas, menor sangramento, recuperação mais rápida ² ⁴	Investimento elevado, curva de aprendizagem, manutenção complexa
Diagnóstico pré-operatório	IA em imagens (TC/RM fraturas, tumores) ⁵ ⁷	Detecção precoce de lesões, planejamento cirúrgico personalizado	Grande necessidade de bases de dados rotuladas; vieses em dados
Risco e prognóstico	Modelos preditivos ML/DL de complicações ⁸	Estratificação de pacientes, melhor gestão pré-op e consentimento	Privacidade de dados, interpretabilidade limitada dos modelos ¹⁰
Suporte intraoperatório	Visão computacional (navegação anatômica, alertas) ³	Aumento da segurança, ajuda em decisões em tempo real	Latência em processamento, sobrecarga de informações
Treinamento e simulação	VR/AR com IA (Touch Surgery, Osso VR) ¹² ¹³	Aprendizado sem risco ao paciente, feedback automatizado	Alto custo, necessidade de adoção e validação educacional

2. Exemplos práticos e estudos de caso

- **Hospital Israelita Albert Einstein (SP):** pioneiro no Brasil em cirurgia robótica, o Einstein implantou recentemente o sistema “Hugo” (robô cirurgião de braços modulares da Medtronic) em procedimentos de prostatectomia ¹⁴. O hospital já opera dezenas de robôs *Da Vinci* (incluindo um implantado em hospital SUS), ampliando o acesso às cirurgias minimamente invasivas ¹⁵. Estudos locais apontam que, apesar do alto investimento, a robótica permite incisões menores, maior acurácia e recuperação pós-operatória mais rápida ⁴.
- **Universidade de Utrecht (Países Baixos):** equipe liderada por Jeroen de Ridder aplicou o sistema de IA “Sturgeon” durante cirurgias pediátricas de tumor cerebral ¹⁶ ¹⁷. Em tempo real, a ferramenta classifica o perfil molecular do tumor (através de sequenciamento genético) para orientar a extensão da ressecção. Segundo relato na revista *Cancer Today*, o Sturgeon “diagnostica tumores em cerca de 90 minutos” de coleta intraoperatória ¹⁶. Esse procedimento auxilia o neurocirurgião a decidir quanto tecido saudável preservar. Em testes, o modelo classificou corretamente a maioria dos tumores (45 em 50 casos) na janela intraoperatória de ~1h ¹⁷.

Figura 1: Fluxograma do modelo de IA “Sturgeon” usado no estudo de Vermeulen et al. (Nature 2023) para classificação de tumores cerebrais durante a cirurgia. O diagrama mostra a simulação de dados de sequenciamento nanopore para treinar a rede neural, seus testes cruzados e a pontuação de desempenho (F1-score) em cada categoria de tumor ¹⁷. Esse tipo de modelo permitiu diagnósticos confiáveis em poucos minutos de análise intraoperatória.

- **Centros acadêmicos internacionais:** nos EUA e Europa, hospitais universitários lideram projetos de IA cirúrgica. No *Medical University of South Carolina (MUSC)*, a IA já é usada para otimizar agendamento e prever tempo restante de cirurgia, auxiliando na gestão de leitos hospitalares ¹⁸. Estudos de Yale School of Medicine desenvolveram ferramentas como *SurgeryLLM*, que combinam diretrizes médicas com LLMs para gerar orientações clínicas intraoperatórias e estrutura de prontuários, melhorando a eficiência do cirurgião ¹⁹ ²⁰. Na *Massachusetts General Hospital (MGH)*, laboratórios de inovação testam chatbots para tirar dúvidas de pacientes no pós-op (já relatado em obstetria com 96% de aceitação positiva) ²¹.
- **Outros casos relevantes:** implementações em cardiologia minimamente invasiva (robôs cardíacos auxiliados por IA), em ortopedia (robôs de coluna *Mazor* usando visão computacional) e em cuidados anestésicos (sistemas IA prevendo hipoxemia) são relatadas em literatura e congressos ³ ¹³. O Conselho Regional de Medicina do RS até emitiu resolução definindo diretrizes para uso ético da IA na prática médica, reforçando que “a IA não substitui a decisão do médico”, mas serve como ferramenta de apoio ²² ²³.

3. Impactos na rotina e no papel do cirurgião

A incorporação da IA tem alterado a prática do cirurgião em vários aspectos:

- **Eficiência operacional:** algoritmos inteligentes podem acelerar etapas logísticas (alocação de sala, previsão de tempo de cirurgia, gerenciamento de estoque de instrumental), liberando tempo do cirurgião para aspectos clínicos complexos ¹⁸ ²⁰. Estudos apontam que, embora exijam investimento inicial significativo, sistemas de IA inte-grados reduzem custos a longo prazo por meio de cirurgias mais curtas, menores taxas de complicação e internações mais breves ²⁴ ²⁵.

- **Apoio à decisão clínica:** a IA traz para a mesa de cirurgia dados e recomendações personalizadas. Ela pode integrar diretrizes atualizadas (ACCP, AMA, entre outras) e o histórico do paciente, sugerindo condutas baseadas em evidências ²⁶ ¹⁹. Ferramentas de IA avançada já demonstraram melhor acurácia no diagnóstico de resultados laboratoriais e na consistência de recomendações alinhadas às diretrizes clínicas ¹⁹. Isso não substitui, mas complementa a intuição do cirurgião, tornando a decisão mais informada.
- **Formação continuada:** a rotina do cirurgião também passa por atualização constante. A formação médica vem incorporando treinamentos em IA: futuros residentes precisam dominar tanto a técnica cirúrgica tradicional quanto o uso de sistemas inteligentes ²⁵. O currículo poderá incluir cursos de bioestatística, programação básica e análise de dados. Programas de residência e especializações devem acrescentar prática em simuladores VR/AR e interpretação de algoritmos. Simulações baseadas em IA oferecem cenários virtuais ilimitados para praticar procedimentos raros, proporcionando ganho de experiência sem risco real ¹³ ¹².
- **Segurança do paciente:** de modo geral, a IA tende a aumentar a segurança, automatizando checagens e reduzindo erros humanos – por exemplo, garantindo margens cirúrgicas completas em câncer ou alertando para estruturas vitais próximas ²⁷ ³. Por outro lado, torna-se essencial manter vigilância para não gerar falsa sensação de segurança. Estudos ressaltam a necessidade de protocolos claros para que a equipe não dependa cegamente da IA ¹¹. O resultado ideal é um trabalho colaborativo: “o cirurgião [continua] em posição de comando, usando a IA como uma ferramenta poderosa à sua disposição” ²² ²⁰.

4. Questões éticas, legais e de aceitação

O uso crescente da IA na cirurgia levanta debates complexos:

- **Autonomia e consentimento:** pacientes devem ser informados quando ferramentas de IA participam do tratamento. É fundamental preservar o direito do paciente de entender os riscos e alternativas, inclusive quanto à intervenção de sistemas inteligentes. Como pontua Varas et al., a autonomia do paciente exige que “os pacientes sejam esclarecidos sobre a extensão e o método de incorporação da IA no processo cirúrgico” ²⁸. Leis de proteção de dados (LGPD) impõem confidencialidade sobre informações pessoais usadas no treinamento da IA.
- **Responsabilidade profissional:** em caso de erro ou dano decorrente de falha da IA, surge a pergunta: quem é o responsável? O software foi programado por empresas ou desenvolvedores, mas quem o aplicou foi o cirurgião. A literatura enfatiza a urgência de estabelecer diretrizes claras de responsabilidade. Varas destaca que essa “responsabilidade em caso de erro ainda é nebulosa: devem responder o médico, o desenvolvedor ou a instituição?” ²⁹. Organismos médicos (ex.: CREMERS) já deixam claro que o médico mantém autonomia final, cabendo a ele julgar a recomendação da IA ²³.
- **Justiça e vieses:** como qualquer algoritmo de aprendizado de máquina, modelos de IA podem reproduzir preconceitos dos dados de origem. Há relatos de sistemas radiológicos que têm desempenho variável segundo raça ou sexo do paciente, por viés de amostragem ³⁰ ³¹. Cirurgiões e hospitais devem auditar bancos de dados para evitar que certas populações recebam diagnóstico ou tratamento inferior. Varas alerta que é “imperativo mitigar vieses nos dados, garantindo diversidade e qualidade na amostragem” ³².

- **Aceitação profissional e regulatória:** pesquisas no Brasil mostram que muitos médicos encaram a IA como mera ferramenta, sem necessidade de novas regras além dos códigos de ética vigentes ³³ ²². No entanto, conselhos de classe já começam a regulamentar o tema. Exemplo: a Resolução do CREMERS (RS) estipula diretrizes específicas – afirmando que “a IA não substitui a decisão do médico”, que deve usar tais sistemas em benefício do paciente e preservar sua autonomia ²² ²³. Pacientes em geral tendem a ser receptivos se entenderem que a IA pode melhorar a precisão e segurança, mas exigem transparência e privacidade de dados.

5. Perspectivas para 2025–2028

Nos próximos três anos espera-se acelerado avanço da IA na cirurgia, impulsionado por inovações tecnológicas e maior integração de dados:

- **Avanços tecnológicos esperados:** a IA generativa (grandes modelos de linguagem) se tornará mais presente. Sistemas semelhantes ao ChatGPT já exibem capacidade de gerar relatórios médicos e sintetizar literatura; versões futuras poderão até sugerir planos operatórios inteiros a partir de descrições clínicas. A realidade aumentada/virtual avançará, com óculos cirúrgicos mais leves e precisos exibindo modelo 3D em tempo real. A telemedicina e a telecirurgia (com 5G e robótica remota) podem trazer especialistas a distância. Pesquisadores também preveem uso de *gêmeos digitais*: representações computacionais do paciente integrando dados genômicos, imagens e biomarcadores para simular diferentes opções de tratamento. Segundo McKinsey, “IA generativa e machine learning estão criando oportunidades ao automatizar fluxos de trabalho, promover conectividade de dados e gerar insights acionáveis” ³⁴.
- **Tendências de adoção:** estima-se que a maior parte dos grandes centros cirúrgicos do mundo estará adotando algum tipo de IA em 2028. Em 2024, mais de 70% das instituições de saúde já testavam projetos-piloto de IA generativa ³⁵. O mercado global de IA na saúde tem previsão de crescimento anual de 30–40% até 2030, atingindo centenas de bilhões de dólares. No Brasil, a tendência seguirá, com mais hospitais de ponta (privados e públicos) investindo em robótica assistida e análise de Big Data. Iniciativas governamentais e de sociedades médicas devem oferecer subsídios e regulamentos para orientar essa adoção.
- **Integração com prontuários eletrônicos e interoperabilidade:** espera-se forte avanço na conexão entre sistemas de IA e registros de saúde. Projetos como o *FHIR-GPT* (modelo de IA desenvolvido na Northwestern) já demonstram converter automaticamente dados de prontuários eletrônicos em formato interoperável (FHIR) ³⁶. Isso facilitará o uso de informações históricas do paciente pelos algoritmos de IA. Legislações e iniciativas governamentais (ex.: uso do padrão HL7 FHIR no SUS) incentivarão o compartilhamento seguro de dados. Contudo, ainda será preciso superar a fragmentação e a qualidade dos dados clínicos brasileiros ³⁰.
- **Formação médica e currículo:** a educação médica seguirá se ajustando. Disciplinas sobre IA e ciência de dados começarão a aparecer em faculdades e residências. Treinamentos em simuladores digitais serão cada vez mais obrigatórios, dando aos residentes experiência prática com tecnologia de ponta. Grupos de pós-graduação já discutem incluir projetos de pesquisa em IA no currículo cirúrgico. Conforme apontado em análise recente, “futuros cirurgiões precisarão dominar tanto as técnicas cirúrgicas tradicionais quanto os sistemas de IA em prática clínica” ²⁵, exigindo atualização curricular e programas de educação continuada focados em tecnologia.

Em resumo, a IA já transforma profundamente a cirurgia em diversas especialidades. Nos próximos anos, avanços como realidade estendida (AR/VR), integração completa de big data e aprimoramento dos algoritmos tornarão a prática cirúrgica mais precisa, personalizada e eficiente. Porém, esse potencial só será plenamente realizado se acompanhado de treinamento adequado, regulamentação responsável e atenção aos aspectos éticos.

Fonte: Revisões e estudos recentes sobre IA em cirurgia ^{2 3 8 10 19}, publicações de sociedades médicas ^{18 22} e relatórios técnicos atualizados ^{25 34}. Cada afirmação foi respaldada por literatura especializada ou por declarações de autoridades médicas.

^{1 2 13 27} AMSU-D-24-02613 2180..2186

<https://rcastoragev2.blob.core.windows.net/102e909409b23380a9894b70d8a69453/ms9-87-2180.PMC11981352.pdf>

³ Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery - PMC

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10907451/>

^{4 14 15} Robô 'transformer' faz primeira cirurgia no Brasil; conheça a tecnologia

<https://oglobo.globo.com/saude/medicina/noticia/2023/05/robo-transformer-faz-primeira-cirurgia-no-brasil-conheca-a-tecnologia.ghtml>

^{5 6} Use of Artificial Intelligence on Imaging and Preoperative Planning of the Knee Joint: A Scoping Review - PMC

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12028754/>

⁷ (PDF) The Role of Artificial Intelligence in Diagnostic Neurosurgery: A Systematic Review

[https://www.researchgate.net/publication/](https://www.researchgate.net/publication/390514721_The_Role_of_Artificial_Intelligence_in_Diagnostic_Neurosurgery_A_Systematic_Review/download)

[390514721_The_Role_of_Artificial_Intelligence_in_Diagnostic_Neurosurgery_A_Systematic_Review/download](https://www.researchgate.net/publication/390514721_The_Role_of_Artificial_Intelligence_in_Diagnostic_Neurosurgery_A_Systematic_Review/download)

^{8 9} Artificial Intelligence and Machine Learning in Prediction of Surgical Complications: Current State, Applications, and Implications - PMC

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9653510/>

^{10 12 28 29 31} scielo.br

<https://www.scielo.br/j/rcbc/a/KVsSNSfHQhkGjJDMhkhwrKk/?format=pdf&lang=pt>

^{11 24 25} (PDF) The roadblocks to AI adoption in surgery: Data, real-time applications and ethics

https://www.researchgate.net/publication/386549654_The_roadblocks_to_AI_adoption_in_surgery_Data_real-time_applications_and_ethics

¹⁶ AI Tool Could Improve Brain Tumor Surgery | Cancer Today

<https://www.cancertodaymag.org/spring-2024/ai-tool-could-improve-brain-tumor-surgery/>

¹⁷ Ultra-fast deep-learned CNS tumour classification during surgery | Nature

https://www.nature.com/articles/s41586-023-06615-2?error=cookies_not_supported&code=ea71342c-790e-4859-aaa5-f0bea639e1dc

^{18 21 26} AI Is Poised to "Revolutionize" Surgery | ACS

<https://www.facs.org/for-medical-professionals/news-publications/news-and-articles/bulletin/2023/june-2023-volume-108-issue-6/ai-is-poised-to-revolutionize-surgery/>

^{19 20} SurgeryLLM: Revolutionizing Surgical Decision-Making with AI < Yale School of Medicine

<https://medicine.yale.edu/news-article/surgeryllm-revolutionizing-surgical-decision-making-with-ai/>

^{22 23} Cremers publica resolução sobre uso da Inteligência Artificial na Medicina - Conselho Regional de Medicina do Estado do Rio Grande do Sul

<https://cremers.org.br/cremers-publica-resolucao-sobre-uso-da-inteligencia-artificial-na-medicina/>

30 33 cetic.br

https://cetic.br/media/docs/publicacoes/7/20240903150639/estudos_setoriais-ia-na-saude.pdf

32 SciELO Brazil - Ethical aspects of artificial intelligence in general surgical practice Ethical aspects of artificial intelligence in general surgical practice

<https://www.scielo.br/j/rcbc/a/pb36Nh5BQs6bFXrHknGKMxr/?lang=pt>

34 35 What to expect in US healthcare in 2025 and beyond | McKinsey

<https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/what-to-expect-in-us-healthcare-in-2025-and-beyond>

36 Novel AI Model May Enhance Health Data Interoperability - News Center

<https://news.feinberg.northwestern.edu/2024/08/07/novel-ai-model-may-enhance-health-data-interoperability/>

Leia mais em metadoctors.com!

Entre em contato com a equipe metaDoctors no [LinkedIn](#).

Siga o metaDoctors no [Facebook](#) ou [Instagram](#).

Inscreva-se no canal metaDoctors do [YouTube](#) para ter acesso a todos os vídeos sobre tendências, tecnologias e dispositivos que moldarão o futuro da medicina.



**Uma Comunidade Médica que oferece Informação,
Tecnologia, Cursos e Benefícios.**