



C A P Í T U L O 15

O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM CIRURGIAS

Geovanne D'Alfonso Júnior

Discentes do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, MG - Brasil.

Lucas Fernandes Pereira

Discentes do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, MG - Brasil.

Gustavo Arthur de Souza Alves

Discentes do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, MG - Brasil.

Evaldo de Deus Cunha

Discentes do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, MG - Brasil.

Karine Cristine Almeida

Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, MG - Brasil.

José Miguel da Silva Maciel Júnior

Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, MG - Brasil.

A inteligência artificial (IA) e suas aplicações têm ganhado destaque na última década, acompanhada por avanços significativos na criação e avaliação de aplicações clínicas. IA é um termo abrangente que descreve diferentes tecnologias computacionais que permitem que algoritmos aprendam, interpretem, produzam previsões ou atuem autonomamente sobre dados clínicos. Essas tecnologias incluem áreas como aprendizado de máquina a partir de dados estruturados, visão computacional, realidade aumentada e robótica operatória (Qin *et al.*, 2023).

O amplo consenso sobre as definições de responsabilidade na implantação clínica de IA permite que estruturas robustas possam dar suporte a qualquer implantação de dispositivo e, aliado a isso, os aumentos anuais no financiamento de provedores,

Discentes e de capital para desenvolvimento e testes de IA resultam em uma massa crítica de modelos validados e aprovados por reguladores que estão se tornando incorporados de forma sustentável aos serviços de saúde (Valente *et al.*, 2025). Essa confluência de maturidade algorítmica, de dados e de implementação, são fatores que já permitiram a utilização de IA orientada por valor em setores não relacionados à saúde, o que torna provável que a área da saúde siga esses mesmos passos (Saqib *et al.*, 2024).

De acordo com Lim *et al.* (2023), os algoritmos de inteligência artificial (IA) alcançaram um estágio de desenvolvimento técnico que permite sua aplicação eficiente em ambientes clínicos, favorecendo a maximização do potencial informacional contido nos dados de saúde. Essa maturidade tecnológica viabiliza a análise de grandes volumes de dados clínicos, estruturados e não estruturados, ampliando significativamente a capacidade de extração de conhecimento relevante para a prática assistencial. Somando a isso, a crescente interoperabilidade dos sistemas de informação em saúde, associada à expansão da cobertura populacional desses dados, contribui para uma visão mais abrangente e representativa dos processos clínicos. Além disso, a heterogeneidade tecnológica presente nesses sistemas viabiliza sua integração em trajetórias assistenciais complexas e no processamento de dados multimodais, o que amplia o escopo de aplicação da IA em múltiplos pontos da experiência do paciente, promovendo impactos relevantes desde a triagem e o diagnóstico até o planejamento terapêutico e o acompanhamento longitudinal, consolidando seu papel como ferramenta estratégica no apoio à decisão clínica e na qualificação do cuidado em saúde.

De acordo com estudo de Saqib *et al.* (2024), atualmente têm-se uma compreensão científica muito maior dos elementos fundamentais para dar suporte a qualquer implantação contínua de IA, bem como um reconhecimento estabelecido de que esse recurso é meramente um instrumento de caminho, e a precisão do modelo deve dar suporte à eficiência clínica ou aos resultados dos pacientes. Como tal, há uma atenção acadêmica, institucional e regulatória crescente dada à geração de evidências e à avaliação de impacto em um ciclo de vida pós-implantação (ou pós-mercado).

No campo cirúrgico, os avanços em IA têm promovido transformações relevantes, com algoritmos desempenhando papéis centrais nas etapas de diagnóstico, planejamento operatório e suporte à decisão durante o procedimento (Knudsen *et al.*, 2024). Essa integração entre sistemas automatizados e prática clínica é guiada por princípios de eficiência, precisão e previsibilidade. Ainda que esses recursos tecnológicos modifiquem aspectos da atuação profissional, o papel dos profissionais de saúde permanece essencial, especialmente no julgamento clínico e na condução ética do cuidado (Valente *et al.*, 2025).

De fato, Knudsen *et al.* (2024) alegam que seus caminhos cirúrgicos são bem definidos, baseados em evidências, frequentemente com suporte tecnológico na linha de base e fornecem medidas tangíveis e bem validadas de desempenho, eficiência e resultados centrados no paciente. Esses fatores são provavelmente responsáveis pelos altos níveis de maturidade dos modelos de IA e pelo número de dispositivos médicos de softwares aprovados por órgãos reguladores que se encontram em etapas-chave de qualquer caminho cirúrgico.

Assim, o objetivo deste capítulo é analisar, de forma crítica e fundamentada, os impactos da inteligência artificial no campo cirúrgico. Ademais, pretende-se identificar as principais tecnologias utilizadas nas etapas pré, intra e pós-operatórias; examinar os benefícios clínicos e operacionais descritos na literatura recente; e discutir os desafios ético-legais e institucionais relacionados à consolidação dessas ferramentas em ambientes cirúrgicos complexos.

IA APLICADA A CIRURGIAS: BENEFÍCIOS E EXEMPLOS

Segundo Byrd IV e Tignanelli (2024), a lógica decisória no contexto cirúrgico tem sido profundamente impactada pela introdução da inteligência artificial (IA), que possibilita a interpretação em tempo real de dados clínicos durante os procedimentos. Mediante o uso de técnicas avançadas de aprendizado hierárquico automatizado, os sinais obtidos intraoperatoriamente são processados e convertidos em recomendações técnicas de alta precisão. Esse suporte computacional contribui para maior estabilidade intraoperatória, redução da variabilidade interprofissional e torna o ato cirúrgico mais padronizado e previsível.

Sob essa visão, dentre os avanços mais notáveis proporcionados pela IA, nota-se a melhoria da acurácia visual em procedimentos minimamente invasivos, e, por isso, intervenções como laparoscopias e toracoscopias se beneficiam de algoritmos que conseguem reconhecer com alta precisão estruturas importantes e limites tumorais, mesmo em contextos com visibilidade limitada (Huiyang *et al.*, 2024).

De acordo com Gumbs *et al.* (2021) e Leonel *et al.* (2024), existem ferramentas capazes de analisar dados clínicos e populacionais para prever riscos específicos no pré-operatório cirúrgico, que orientem decisões como a via de acesso e a organização da equipe, baseando a conduta cirúrgica em análises objetivas em vez de intuições individuais. Já na segurança intraoperatória, a IA tem ganhado destaque como ferramenta preditiva para eventos adversos, haja vista que sistemas alimentados com grandes volumes de dados conseguem identificar sutis alterações fisiológicas e emitir alertas baseados em padrões anteriores, auxiliando decisões clínicas mais rápidas e servindo como uma extensão analítica da equipe médica.

A inteligência artificial tem assumido papel relevante no planejamento cirúrgico, com aplicação mesmo nas fases pré-operatórias. Algoritmos já disponíveis são capazes de indicar o posicionamento ideal do paciente, a sequência operatória mais e o tipo de acesso mais adequado, a partir da análise de tomografias, dados clínicos e registros prévios de complicações (Zhang *et al.*, 2024). Com isso, decisões anteriormente baseadas em heurísticas e experiências individuais passam a ser fundamentadas em modelos estatísticos robustos, promovendo maior previsibilidade e reduzindo a subjetividade nas decisões cirúrgicas (Gumbs *et al.*, 2021).

Em convergência, Farah *et al.* (2025) apontam que a IA tem desempenhado papel estratégico na otimização do fluxo cirúrgico e no planejamento de altas hospitalares. Através da automação do fluxo hospitalar, algoritmos são capazes de prever a demanda de pacientes, gerir a alocação de leitos e coordenar transferências com base em dados históricos e em tempo real, o que contribui para maior eficiência operacional e redução de atrasos. Além disso, a IA atua na mitigação de interrupções clínicas por meio da manutenção preditiva e da alocação inteligente de recursos, como equipamentos e unidades de internação, minimizando falhas imprevistas que comprometem o agendamento cirúrgico.

Portanto, no contexto da alta hospitalar, modelos preditivos analisam variáveis demográficas, clínicas e intraoperatórias para melhorar a recuperação pós-operatória, estimar a duração ideal da internação e indicar a prontidão para alta, promovendo transições mais seguras, redução do tempo de permanência desnecessário e melhor gestão da ocupação hospitalar (Byrd; Tignanekku, 2024). No entanto, estudos prospectivos para avaliar a implementação clínica dos modelos são necessários para garantir que sejam seguros e eficazes (Farah *et al.*, 2025).

Outrossim, a adoção da robótica em cirurgias proporciona diversos benefícios intraoperatórios, incluindo ergonomia aprimorada, destreza e uma visão tridimensional ampliada e realista. Resultados perioperatórios comprovados incluem redução nas taxas de perda sanguínea e transfusão, menor tempo de internação e redução nas taxas de complicações e, consequentemente, a cirurgia robótica tem sido cada vez mais utilizada como a opção minimamente invasiva de escolha para cirurgias comuns, em oposição à cirurgia laparoscópica tradicional (Silva *et al.*, 2024).

O controle dos braços robóticos também tem se beneficiado da IA, com melhorias na estabilidade dos movimentos, eliminação de ações redundantes e maior precisão nas tarefas críticas. Isso também se traduz em cirurgias mais rápidas e com menor necessidade de conversões para procedimentos abertos. Assim, à medida que o sistema acumula experiências, seus algoritmos evoluem, oferecendo maior repetibilidade e precisão com base em padrões técnicos otimizados (Silva *et al.*, 2024; Saqib *et al.*, 2024).

Como exemplos em cada especialidade cirúrgica, Bekbolatova *et al.* (2024) destacam que, na oncologia, a IA tem possibilitado a preservação funcional de estruturas sensíveis. Na prostatectomia robótica, por exemplo, a fusão de imagens orienta a dissecação em áreas delicadas como os feixes neurovasculares, reduzindo danos e preservando funções como continência urinária e função sexual. Isso se deve a mapas anatômicos 3D personalizados, que elevam a precisão funcional e melhoram a qualidade de vida pós-operatória.

Na ortopedia, especialmente em artroplastias do ombro, a IA aprimora o planejamento protético por meio de reconstruções 3D e algoritmos de alinhamento, corrigindo erros que afetam a durabilidade da prótese (Bekbolatova *et al.*, 2024), e isso torna o posicionamento mais seguro e uniforme, independentemente da experiência do cirurgião (Farah *et al.*, 2025).

Na cirurgia plástica reconstrutiva, a IA tem expandido as possibilidades de planejamento e previsão de resultados, haja vista que modelos morfométricos viabilizam simulações realistas dos resultados estéticos, promovendo comunicação mais clara com o paciente. Com isso, há menos reintervenções e expectativas mais realistas em relação aos resultados, que se alinham melhor às características anatômicas (Farah *et al.*, 2025).

De acordo com Iftikhar *et al.* (2024), outro avanço importante é a análise automatizada de vídeos cirúrgicos, que permite mapear padrões de movimento, tempo de execução e fluidez gestual. Assim, essa avaliação objetiva substitui críticas subjetivas por métricas estruturadas, aperfeiçoando o ensino e a avaliação de habilidades cirúrgicas. Além dessa contribuição na formação, a IA também potencializa a atuação durante a cirurgia, por meio de análises simultâneas de parâmetros fisiológicos, imagens e padrões técnicos possibilitando decisões mais precisas e ajustes imediatos, bem como auxiliando na identificação de riscos em tempo real, adicionando uma camada extra de segurança adaptativa ao procedimento.

Portanto, a presença da IA nas salas cirúrgicas inaugura uma nova abordagem técnico-cognitiva na medicina. O raciocínio do cirurgião é complementado por sistemas capazes de analisar grandes volumes de dados em segundos, oferecendo sugestões fundamentadas em evidências. Essa colaboração não limita a autonomia do profissional, mas amplia sua capacidade de lidar com a complexidade dos procedimentos atuais (Bekbolatova *et al.*, 2024; Farah *et al.*, 2025).

CONSIDERAÇÕES ÉTICAS E LEGAIS PARA IMPLEMENTAÇÃO

A introdução da inteligência artificial (IA) nos ambientes cirúrgicos tem alterado profundamente as estruturas decisórias da medicina. Tarefas que antes dependiam exclusivamente da expertise humana estão sendo transferidas para sistemas computacionais, deslocando o foco da experiência clínica para a análise estatística (Zhang *et al.*, 2024). Esse movimento representa uma transformação epistemológica importante na medicina atual, na qual o julgamento baseado em casos individuais começa a coexistir com previsões geradas por dados. Essa mudança exige uma revisão ética sobre o papel da tecnologia nas decisões médicas (Knudsen *et al.*, 2024; Valente *et al.*, 2025).

Ademais, Silva *et al.* (2024) ressaltam que a influência da IA também afeta a autonomia do cirurgião, já que os algoritmos passam a sugerir condutas, técnicas operatórias e momentos de intervenção. Isso pode diluir a responsabilidade médica, especialmente na ausência de uma estrutura clara de governança. Assim, o juízo clínico, que antes era exercido de maneira autônoma, agora se vê mediado por modelos de risco, o que pode obscurecer os limites entre decisões baseadas em conhecimento clínico e aquelas guiadas por dados.

Portanto, quando os algoritmos operam como sistemas opacos, ou “caixas-pretas”, tornam-se incompreensíveis até mesmo para os profissionais que os utilizam, enfraquecendo tanto o aprendizado clínico quanto a capacidade de justificar as decisões tomadas (Silva *et al.*, 2024). Isso compromete a relação de confiança com o paciente, já que as condutas passam a depender de processos não transparentes (Silva *et al.*, 2024; Valente *et al.*, 2025).

Além disso, o uso da IA modifica os termos do consentimento informado, pois os documentos atuais raramente abrangem os riscos específicos introduzidos por essas tecnologias, e como muitos pacientes não compreendem o papel da IA na cirurgia, isso pode fragilizar a validade do consentimento (Huiyang *et al.*, 2024).

De acordo com Kiyasseh *et al.* (2023), durante o treinamento médico, o foco excessivo em padronização e repetição técnica promovido por sistemas inteligentes pode limitar a capacidade dos futuros cirurgiões de lidar com situações imprevistas, além de reduzir o aprendizado a um processo mecânico, desvalorizando o raciocínio clínico. Do ponto de vista jurídico, a responsabilidade por danos causados por decisões automatizadas ainda é incerta, já que vários agentes estão envolvidos, dos desenvolvedores aos hospitais, e o sistema legal ainda carece de normas claras para lidar com esses casos.

Para Iftikhar *et al.* (2024), o uso extensivo de dados para treinar algoritmos levanta preocupações quanto à privacidade, especialmente considerando que, mesmo anonimizados, esses dados podem ser reidentificados por meio de cruzamentos complexos, o que tensiona os limites entre inovação e confidencialidade médica. Em consonância, Ferreres (2024) ressalta que a avaliação do desempenho dos cirurgiões por IA também é polêmica, pois muitas vezes ignora o contexto clínico e privilegia métricas operacionais, o que pode levar a julgamentos injustos e enviesados.

Sob uma perspectiva crítica, Knudsen *et al.* (2024) ressaltam que há o risco de substituição do raciocínio clínico por uma ilusão de exatidão da IA, e que essa confiança cega em modelos matemáticos pode comprometer a escuta qualificada e a ética na tomada de decisões. Por isso, cresce a defesa da criação de comitês independentes para avaliar sistemas de IA antes de sua adoção clínica, garantindo uma análise ética, técnica e jurídica rigorosa. Ademais, o debate público e a validação coletiva tornam-se fundamentais para garantir que a inovação tecnológica não ultrapasse os limites normativos necessários.

Finalmente, os desafios éticos da IA na cirurgia não podem ser resolvidos com base apenas na bioética tradicional. É preciso desenvolver uma nova ética que considere as particularidades da interação entre humanos e máquinas em contextos críticos, como o cirúrgico. A técnica, por mais avançada que seja, deve continuar a serviço de uma medicina centrada no ser humano (Saqib *et al.*, 2024).

DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA IMPLEMENTAÇÃO DA IA EM CIRURGIAS

A inteligência artificial tem reformulado o ensino cirúrgico ao incorporar métodos orientados por dados, monitoramento de desempenho e análise constante. Diferentemente do modelo tradicional, que se apoia na supervisão direta, os simuladores com IA oferecem retorno imediato ao estudante (Iqbal *et al.*, 2022). Com isso, a formação é guiada por métricas precisas e personalizáveis, construindo o conhecimento técnico com base em dados e aproximando a prática educativa da lógica computacional (Valente *et al.*, 2025).

O uso de simuladores com IA, que reproduzem fielmente aspectos anatômicos, reações dos tecidos e a complexidade das operações, permitem uma prática segura e repetitiva, sem colocar pacientes em risco (Iqbal *et al.*, 2022). O desempenho é continuamente registrado e analisado, e o processo de ensino se torna mais confiável e adaptável, abandonando o modelo baseado em erro em favor de ciclos controlados de aprendizado (Silva *et al.*, 2024).

Sob essa perspectiva, com o uso de algoritmos de inteligência artificial, o conteúdo didático é ajustado conforme o progresso de cada cirurgião (Singh *et al.*, 2024). Os sistemas captam gestos, tempo de resposta e eficiência técnica, reorganizando os exercícios conforme o perfil individual. Isso torna o aprendizado mais sensível às necessidades específicas de cada estudante, e com base em dados consistentes (Iqbal *et al.*, 2022).

Segundo O'Sullivan *et al.* (2023), a avaliação técnica também foi revolucionada pela visão computacional, já que redes neurais analisam movimentos em cirurgias robóticas, comparando-os a padrões biomecânicos ideais. A subjetividade da avaliação humana dá lugar a critérios padronizados, o que promove maior justiça nas avaliações. Entretanto, esses avanços dependem da qualidade dos dados que alimentam os algoritmos. A criação de bancos de dados bem rotulados, com validação interdisciplinar, ainda representa um desafio importante. A falta de uniformidade na rotulagem prejudica a eficácia dos modelos. Assim, a educação cirúrgica com IA requer contínuos investimentos em curadoria de dados (Singh *et al.*, 2024).

Além disso, segundo Ray *et al.* (2024), a IA, ainda que eficaz na técnica, não abarca aspectos subjetivos do treinamento, como empatia, comunicação e julgamento clínico. Por isso, a formação deve manter espaço para o componente humano, pois a IA deve ser uma ferramenta complementar, e não substitutiva.

Por outro lado, Rodriguez *et al.* (2024) em seu estudo alerta que o uso excessivo da IA pode levar à dependência tecnológica e à perda de autonomia crítica e que ambientes altamente automatizados podem enfraquecer a capacidade de improvisação e decisão dos residentes cirúrgicos. Para uma formação completa, é necessário preservar o espaço para reflexão e criatividade, mantendo a IA como apoio e não como guia único do raciocínio clínico.

Vale ressaltar também que o sucesso da IA na formação depende também do preparo dos professores. A falta de familiaridade com as tecnologias pode gerar resistência ou uso inadequado, por isso é de suma importância investir na capacitação pedagógica para garantir que os indicadores produzidos pelos sistemas sejam corretamente interpretados (Silva *et al.*, 2024).

Apesar do avanço tecnológico, a integração da IA nos currículos médicos ainda é limitada, e, em muitos casos, seu uso é tratado como opcional. Para consolidar sua presença, será necessário reformular as estruturas curriculares e criar políticas educacionais sólidas (Zhao *et al.*, 2023). Diante disso, propõe-se um modelo híbrido de formação, que combine supervisão presencial, simulação por IA e avaliação baseada em desempenho. Essa abordagem valoriza a tecnologia sem abandonar a experiência clínica (Ray *et al.*, 2024). O equilíbrio entre o humano e o digital é o que garante uma formação ética, técnica e crítica (Abdalla Neto *et al.*, 2024).

FUTURO DA IA EM CIRURGIAS

As tecnologias utilizando inteligências artificiais provavelmente terão um impacto profundo no futuro da educação e do treinamento cirúrgico (Barajas-Gamboa, 2022). O número cada vez maior de vídeos operatórios fornece, aos estudantes e cirurgiões em treinamento, uma riqueza de informações para aprender e, a aprendizagem

de máquina aplicada a vídeos cirúrgicos oferece a oportunidade de esclarecer a anatomia, detalhar as etapas de um procedimento e fornecer feedback e orientação em tempo real (Bellos *et al.*, 2024).

As aplicações descritas na educação cirúrgica incluem o reconhecimento de etapas cirúrgicas, instrumentos, gestos e erros, e anatomia. A oportunidade de integrar a tecnologia baseada em aprendizagem de máquina à simulação baseada em inteligência artificial tem o potencial de ser um complemento inestimável para o treinamento cirúrgico e ajuda a lidar com a curva de aprendizado necessária para dominar as disciplinas cirúrgicas (Benevides *et al.*, 2024).

Modelos de grande linguagem (LLMs), particularmente o ChatGPT, dominaram recentemente a esfera pública devido à sua impressionante capacidade de processar e gerar texto narrativo. Os LLMs utilizam redes neurais e modelos de processamento de linguagem natural para fornecer resultados semelhantes aos humanos em uma variedade de prompts. Recentemente foram observados feitos notáveis, como a aprovação nos exames de licenciamento médico dos EUA, indicando um potencial de transformar o paradigma da educação médica (Knudsen *et al.*, 2024).

Segundo Fangerau (2024), o uso na automação de tarefas educacionais inclui a correção de avaliações, suporte ao ensino, previsão do desempenho dos alunos, feedback em tempo real e geração de conteúdo (por exemplo, perguntas e respostas). À medida que os LLMs amadurecem e os dados de entrada são refinados, eles se tornarão uma ferramenta essencial na prática cirúrgica. Assim, estudantes e residentes cirúrgicos poderão usar os LLMs para acessar facilmente recursos educacionais e informações clínicas em um formato amigável para o usuário, aprimorando sua base de conhecimento, além de fornecer aos pacientes melhores cuidados cirúrgicos baseados em evidências por meio das sugestões geradas de diagnóstico e manejo. Nesse ínterim, a promessa da IA torna-se relevante no âmbito cirúrgico, e provavelmente existem muitos outros usos transformadores além dos descritos até o momento. No entanto, é importante moderar quaisquer expectativas de que a IA seja uma panaceia capaz de resolver todos os problemas na área da saúde (Collins *et al.*, 2022).

De fato, como os princípios da tecnologia de IA nunca foram vistos antes, isso exigirá um planejamento vigilante e deliberado para implementá-la com segurança e ética em estruturas reconhecidas de cuidados cirúrgicos. As principais barreiras que limitam sua implementação incluem ética, governança, segurança do paciente, vies e desvio de dados e segurança cibernética (Fangerau, 2024). Assim, nos casos de uso descritos, o clínico ainda mantém o controle o tempo todo e utiliza tecnologia baseada em IA para aprimorar e informar a tomada de decisões cirúrgicas, mantendo assim a segurança do paciente.

Ademais, à medida que os sistemas de IA progridem, eles se tornam menos distinguíveis dos humanos na realização de tarefas variadas. Isso se tornou evidente na interpretação de imagens e na resposta a perguntas de exames médicos, em que os sistemas de IA estão alcançando ou até mesmo ultrapassando o nível dos humanos (Ferrerres, 2024). Eventualmente, isso pode ser o caso para tarefas mais complexas, como interação humana, diagnósticos clínicos e realização de cirurgias (Fangerau, 2024).

Assim, observa-se que futuro pode consistir em LLMs conversacionais que integrem reconhecimento de fala, aprendizado profundo e tecnologia de processamento de linguagem natural para realizar consultas com pacientes de forma autônoma, recomendando, em última análise, um plano de diagnóstico e tratamento (com base nas melhores práticas atuais por meio da coleta de diretrizes atualizadas e pesquisas contemporâneas revisadas por pares), enquanto aconselham pacientes e respondem a perguntas. No entanto, é importante ressaltar que essas ferramentas deverão ser orientadas para ter empatia para reter um elemento humano na consulta (Fuleihan *et al.*, 2024).

Além disso, Ferreres (2024) aponta que separadamente, a evolução dos robôs operatórios foi conceituada nas seguintes gerações: estereotáxico, endoscópico, bioinspirado e microrrobôs. Eventualmente, robôs operatórios autônomos (quinta geração), assumindo a forma de humanoides ciborgues ou plataformas de inteligência semelhantes a enxames, podem ser implantados em áreas remotas ou zonas de conflito e podem ser controlados por cirurgiões por meio de lentes estereoscópicas e tecnologia holográfica. E, num futuro distante, poderão até oferecer uma alternativa superior às intervenções lideradas por humanos e constituir a melhor prática, padrão-ouro, e até eliminar a necessidade de supervisão ou controle humano.

Essa próxima geração conceitual de IA é denominada inteligência artificial geral e, de acordo com Ferreres (2024), refere-se a sistemas autônomos que igualam ou excedem a inteligência humana, alcançando consciência, sentiência e agência. Por isso, o teste de Turing foi concebido para determinar se os computadores poderiam agir de forma indistinguível dos humanos e, desde então, foi modificado como uma técnica de diagnóstico (teste de Turing modificado) para fornecer uma estrutura quantitativa para cientistas e engenheiros avaliarem as capacidades das tecnologias de IA de próxima geração. No entanto, isto levanta uma importante questão ética e jurídica: um robô, que possui agência, comete um erro e causa danos humanos, poderá assumir a responsabilidade por isso?

De acordo com uma análise das estruturas jurídicas e éticas relativas a este cenário, a responsabilidade pode ser classificada em prestação de contas, obrigação e

culpabilidade. Embora seja possível que um robô autônomo assuma responsabilidade, ele pode não ser considerado culpado, ou seja, passível de punição judicial, visto que não possui um conceito legalmente reconhecido de liberdades civis (Fuleihan *et al.*, 2024). A culpabilidade precisaria ser atribuída aos humanos envolvidos na fabricação ou operação do robô. Consequentemente questiona-se a exclusão dos humanos do processo. Da mesma forma, situações em que um cirurgião opera um robô remotamente e há perda de sinal ou mau funcionamento que cause danos ao paciente, seria necessário discutir quem é o responsável (Ferrerres, 2024).

À medida que a tecnologia de IA e os robôs se tornam mais autônomos, outros dilemas éticos deverão ser considerados. Por exemplo, os princípios existentes sobre robótica centram-se nas interações entre humanos e robôs (especificamente, na prevenção de danos humanos), mas serão necessárias estruturas para reger a interação entre duas ou mais entidades artificiais. A lei AlonAI foi proposta para reconhecer o direito universal de um robô senciente à dignidade e ao tratamento justo, e para prevenir abusos e exploração por outras tecnologias de IA (Ashrafian, 2015).

Segundo Knudsen *et al.* (2024), outros pontos que devem ser levados em consideração são: como e em que medida os robôs autônomos devem ser treinados para tomar decisões éticas? As estruturas regulatórias seriam diferentes em outros países ou zonas hostis? E se os robôs autônomos obtiverem melhor desempenho do que os cirurgiões, como eles seriam certificados e mantidos em padrões profissionais mais elevados do que os humanos?

Essas são apenas algumas das questões que surgem com a progressão da IA. Fundamentalmente, qualquer avanço tecnológico na tecnologia de IA deve ser acompanhado por estruturas éticas, regulatórias e legais proporcionais, robustas e maleáveis que regem seu uso, as quais devem ser cuidadosamente desenvolvidas com o comprometimento de cirurgiões, engenheiros, pesquisadores, bioeticistas, profissionais do direito e formuladores de políticas (Ferrerres, 2024; Fuleihan *et al.*, 2024; Fangerau, 2024).

CONCLUSÃO

A introdução da inteligência artificial na cirurgia representa uma mudança profunda na prática médica, indo além de um simples recurso tecnológico. A atuação do cirurgião passa a ocorrer em interação com sistemas baseados em dados e análises em tempo real, o que exige novas habilidades cognitivas e operacionais. Ademais, a IA amplia a capacidade humana, torna os procedimentos mais previsíveis e promove a repetição de padrões bem-sucedidos, redefinindo o conceito de excelência técnica a partir da precisão orientada por dados.

Contudo, a incorporação desses sistemas impõe desafios éticos e regulatórios, especialmente no que diz respeito à responsabilidade, à explicabilidade dos algoritmos

e ao risco de decisões automatizadas em contextos críticos. A transparência e a compreensão das lógicas internas dos modelos são fundamentais para preservar a autonomia médica e a confiança na relação com o paciente, e a aceitabilidade da IA depende de sua auditabilidade, equidade e do controle humano sobre suas aplicações.

Diante desse cenário, a formação cirúrgica precisa se adaptar estruturalmente, integrando competências digitais, leitura crítica de dados e capacidade de interação com sistemas inteligentes. Instituições de ensino devem estar preparadas para esse novo contexto, sem negligenciar a dimensão humana da prática médica. Por fim, conclui-se que a IA tem potencial para qualificar a cirurgia, desde que sua implementação seja conduzida de forma ética, multidisciplinar e consciente dos impactos sociais e subjetivos envolvidos.

REFERÊNCIAS

ABDALLA NETO, E. *et al.* Aspectos éticos da inteligência artificial na prática cirúrgica geral. **Revista Bioética**, v. 32, n. 1, p. 116–124, 2024.

ASHRAFIAN, H. AlonAI: A humanitarian law of artificial intelligence and robotics. **Science and engineering ethics**, v. 21, p. 29-40, 2015.

BARAJAS-GAMBOA, J. Redefiniendo la era de la cirugía digital: el rol de la inteligencia artificial, la realidad aumentada y el aprendizaje automático en el campo quirúrgico. **MedUNAB**, v. 25, n. 3, p. 353–355, 2022.

BEKBOLATOVA, M. *et al.* Transformative potential of AI in healthcare: definitions, applications, and navigating the ethical landscape and public perspectives. **Healthcare**, Basel, v. 12, n. 125, p. 1–31, 2024.

BELLOS, T. *et al.* Artificial intelligence in urologic robotic oncologic surgery: a narrative review. **Cancers**, v. 16, n. 9, p. 1775, 2024.

BENEVIDES, G. P. *et al.* Transformação na sala de operações: o impacto da inteligência artificial na cirurgia geral. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 8, p. 1–12, 2024.

BYRD IV, T. F., TIGNANELLI, C. J. Artificial intelligence in surgery: a narrative review. **Journal of Medical Artificial Intelligence**, v. 7, p. 1–13, 2024.

COLLINS, J. W. *et al.* Ethical application of artificial intelligence in surgical training and education. **The British Journal of Surgery**, v. 109, n. 5, p. 433–438, 2022.

FANGERAU, H. Ethical considerations of AI applications in medicine: a policy framework for responsible deployment. **Annals of Artificial Intelligence in Medicine**, v. 2, n. 1, p. 13–22, 2024.

FARAH, R. *et al.* The Future of Medical Technology: Recent Innovations in Artificial Intelligence and Robotics for More Precise and Efficient Treatment. **Journal of World Future Medicine, Health and Nursing**, v. 3, n. 2, p. 150-161, 2025.

FERRERES, A. R. Artificial intelligence in surgery: ethical considerations. **Journal of Robotic Surgery**, v. 18, p. 81–90, 2024.

FULEIHAN, A. A. *et al.* Navigating artificial intelligence in spine surgery: implementation and optimization across the care continuum. **Artificial Intelligence Surgery**, v. 4, p. 288–295, 2024.

GUMBS, A. A. *et al.* Artificial Intelligence-Assisted Surgery: Potential and Challenges. **Annals of Surgery Open**, v. 2, n. 3, p. e062, 2021.

HUIYANG, L. M. D. *et al.* Artificial intelligence in surgery: evolution, trend and future directions. **International Journal of Surgery**, v. 111. n. 78, p. 2101-2111, 2024.

IFTIKHAR, M. *et al.* Artificial intelligence: revolutionizing robotic surgery. **Annals of Medicine & Surgery**, v. 86, p. 5401–5409, 2024.

IQBAL, J. *et al.* The future of artificial intelligence in neurosurgery: A narrative review. **Surgical Neurology International**, v. 13, n. 536, p. 1-7, 2022.

KIYASSEH, D. *et al.* A multi-institutional study using artificial intelligence to provide reliable and fair feedback to surgeons. **Communications Medicine**, v. 3, p. 42, 2023.

KNUDSEN, B. *et al.* Ethical issues of artificial intelligence in plastic and reconstructive surgery. **Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery**, v. 77, n. 2, p. 288–295, 2024.

KNUDSEN, J. E. *et al.* Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery. **Journal of Robotic Surgery**, v. 18, p. 102, 2024.

LEONEL, J. S. *et al.* Artificial intelligence: ethical and future challenges. **Revista Bioética**, Brasília, v. 32, p. 1–8, 2024.

LIM, B. *et al.* Using generative artificial intelligence tools in cosmetic surgery: A study on rhinoplasty, facelifts, and blepharoplasty procedures. **Journal of Clinical Medicine**, v. 12, n. 20, p. 6524, 2023.

QIN, F. *et al.* Artificial intelligence in plastic surgery: current developments and future perspectives. **Plastic and Aesthetic Research**, v. 10, p. 3, 2023.

RAY, T.R. *et al.* The perils and promises of generative artificial intelligence in neurointerventional surgery. **Journal of Neuro Interventional Surgery**, v. 16, n. 1, p. 1-5, 2024.

RODRIGUEZ, S. *et al.* A narrative review of transforming surgical education with artificial intelligence: opportunities and challenges. **Surgical Endoscopy**, v. 38, p. 1524–1536, 2024.

SAQIB, M. *et al.* Artificial intelligence for safe and effective surgery: current landscape and future directions. **Frontiers in Surgery**, v. 11, p. 1224568, 2024.

SILVA, J. C. *et al.* Cirurgia robótica: avanços tecnológicos e desafios na prática clínica. **Revista Brasileira de Cirurgia Minimamente Invasiva**, v. 28, n. 1, p. 101–109, 2024.

SINGH, S. *et al.* Ethical implications of artificial intelligence in robotic surgery: a framework for responsible implementation. **AI & Society**, v. 39, p. 109–117, 2024.

VALENTE, L. *et al.* Impact of artificial intelligence on the training of general surgeons of the future: a scoping review of the advances and challenges. **Surgical Endoscopy**, v. 38, p. 2250–2262, 2025.

ZHANG, B. *et al.* Prediction of additional hospital days in patients undergoing cervical spine surgery with machine learning methods. **Computer Assisted Surgery**, v. 29, n. 1, p. 2345066, 2024.

ZHAO, B. *et al.* Artificial Intelligence in Surgery: The Future is Now. **World Journal of Surgery**, v. 47, p. 89–98, 2023.