

Inovações no treinamento cirúrgico: explorando o papel da inteligência artificial e dos grandes modelos de linguagem (LLM)

Innovations in surgical training: exploring the role of artificial intelligence and large language models (LLM)

JULIAN VARAS¹ ; BRANDON VALENCIA CORONEL¹ ; IGNACIO VILLAGRÁN² ; GABRIEL ESCALONA¹ ; ROCIO HERNANDEZ³ ; GREGORY SCHUIT³ ; VALENTINA DURÁN¹ ; ANTONIA LAGOS-VILLASECA⁴ ; CRISTIAN JARRY¹ ; ANDRES NEYEM³ ; PABLO ACHURRA¹ .

R E S U M O

O cenário do treinamento cirúrgico está evoluindo rapidamente com o surgimento da inteligência artificial (IA) e sua integração na educação e simulação. Este artigo explora as aplicações e benefícios potenciais do treinamento cirúrgico assistido por IA, em particular o uso de modelos de linguagem avançados (MLAs), para aprimorar a comunicação, personalizar o feedback e promover o desenvolvimento de habilidades. Discutimos os avanços no treinamento baseado em simulação, ferramentas de avaliação impulsionadas por IA, sistemas de avaliação baseados em vídeo, plataformas de realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA), e o papel potencial dos MLAs na transcrição, tradução e resumo do feedback. Apesar das oportunidades promissoras apresentadas pela integração da IA, vários desafios devem ser abordados, incluindo precisão e confiabilidade, preocupações éticas e de privacidade, viés nos modelos de IA, integração com os sistemas de treinamento existentes, e treinamento e adoção de ferramentas assistidas por IA. Ao abordar proativamente esses desafios e aproveitar o potencial da IA, o futuro do treinamento cirúrgico pode ser remodelado para proporcionar uma experiência de aprendizado mais abrangente, segura e eficaz para os aprendizes, resultando em melhores resultados para os pacientes.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Educação Médica. Curva de Aprendizado.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o treinamento cirúrgico segue o modelo de aprendizagem, no qual os treinandos aprendem com os mentores, observando e auxiliando cirurgiões experientes na sala de cirurgia¹. Essa abordagem, embora vantajosa, não é isenta de limitações. À medida que os procedimentos cirúrgicos se tornam cada vez mais complexos e especializados, cresce a necessidade de métodos de treinamento mais estruturados e padronizados^{2,3}. A preocupação com a segurança do paciente e a necessidade de avaliar objetivamente o desempenho dos treinandos têm estimulado a busca por modalidades de treinamento inovadoras e confiáveis^{4,5}. A ascensão da educação e simulação assistida por Inteligência Artificial tornou-se um componente relevante no treinamento cirúrgico, permitindo uma experiência de aprendizado mais abrangente, segura e eficiente para os treinandos⁶⁻¹⁰.

A inteligência artificial (IA) é um campo multidisciplinar da ciência da computação, focado

na criação de agentes inteligentes, capazes de realizar tarefas que normalmente requerem cognição semelhante à humana¹¹. Os sistemas de IA empregam técnicas como aprendizado de máquina, aprendizado profundo, processamento de linguagem natural, visão computacional e sistemas especialistas para perceber, raciocinar, aprender e se adaptar a novas informações¹¹. O aprendizado de máquina permite que os computadores aprendam com os dados e façam previsões ou decisões sem programação explícita, enquanto o aprendizado profundo usa redes neurais artificiais para reconhecimento sofisticado de padrões¹². O processamento de linguagem natural permite que os sistemas de IA compreendam e gerem fala ou texto semelhantes aos humanos, e a visão computacional lida com a análise e interpretação da informação visual¹³. Os sistemas especialistas envolvem a tomada de decisão apoiada em regras calcadas em bases de conhecimento pré-definidas¹⁴. Ao integrarem essas diversas metodologias de IA, os pesquisadores podem desenvolver agentes inteligentes para enfrentar problemas complexos e transformar vários aspectos

1 - Pontificia Universidad Católica de Chile, Experimental Surgery and Simulation Center, Department of Digestive Surgery - Santiago - Región Metropolitana - Chile 2 - Pontificia Universidad Católica de Chile, Carrera de Kinesiología, Departamento de Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina - Santiago - Región Metropolitana - Chile 3 - Pontificia Universidad Católica de Chile, Computer Science Department, School of Engineering - Santiago - Región Metropolitana - Chile 4 - Pontificia Universidad Católica de Chile, Department of Otolaryngology - Santiago - Región Metropolitana - Chile

da vida humana, incluindo treinamento cirúrgico e educação.

Embora tenha havido avanços significativos no treinamento cirúrgico assistido por IA, o uso específico de grandes modelos de linguagem (large language models – LLMs) para facilitar a comunicação e o processamento de informações em ambientes de treinamento cirúrgico tem sido relativamente pouco estudado. A comunicação eficaz é um aspecto crucial do treinamento cirúrgico, e aproveitar os LLMs para transcrever e traduzir as informações de feedback dos treinadores para os treinandos pode melhorar muito a experiência e os resultados do aprendizado.

Este artigo tem como objetivo destacar o potencial dos LLMs em preencher essa lacuna de comunicação e explorar suas aplicações na transcrição, tradução, resumo de dados de feedback e correções e recomendações em tempo real aos instrutores. Ao abordar essa lacuna, o artigo contribui para a compreensão de como os LLMs podem aprimorar a educação cirúrgica e diminuir a lacuna de comunicação entre treinadores e treinandos.

Avaliação e feedback orientados por IA

O treinamento baseado em simulação, em particular, provou ser um complemento poderoso para um aprendizado tradicional. Oferece um ambiente controlado e sem riscos, onde os treinandos podem praticar suas habilidades antes de aplicá-las no centro cirúrgico^{15,16}. A IA expandiu significativamente o potencial do treinamento baseado em simulação de várias maneiras¹⁷. Um dos principais avanços é a capacidade de fornecer feedback

personalizado aos treinandos cirúrgicos⁶. Ao analisarem as métricas de desempenho e identificarem as áreas de melhoria, os sistemas baseados em IA podem adaptar o feedback a assuntos individuais, abordando seus pontos fortes e fracos exclusivos¹⁸. Essa abordagem personalizada de feedback não apenas aprimora o processo de aprendizado, mas também permite que os treinandos se concentrem em áreas específicas, que requerem maior desenvolvimento.

Além do feedback personalizado, a IA está revolucionando os processos de avaliação no treinamento cirúrgico. Os métodos tradicionais geralmente dependem de avaliações subjetivas de observadores humanos, que podem ser propensos a vieses e inconsistências^{15,19}. As ferramentas de avaliação orientadas por IA, por outro lado, podem medir objetivamente o desempenho cirúrgico, analisando várias fontes de dados, como rastreamento de movimento, medições de força, entradas de feedback histórico e gravações de vídeo^{20,21}. Algumas dessas ferramentas podem fornecer feedback em tempo real e gerar pontuações de desempenho padronizadas, garantindo assim uma avaliação mais consistente e confiável do progresso do treinando^{7,18}.

Além disso, a IA facilitou o surgimento de sistemas de avaliação cirúrgica baseados em vídeo que utilizam técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina para analisar vídeos cirúrgicos e extrair insights valiosos⁷. Esses sistemas oferecem feedback baseado em dados e avaliações objetivas, permitindo que cirurgiões em treinamento e experientes identifiquem áreas para melhoria e aprendam com as melhores práticas^{22,23} (Tabela 1).

Tabela 1. Sistemas de treinamento e avaliação cirúrgica baseados em vídeo aprimorados por IA.

Sistema	Descrição
Theator	Plataforma de avaliação cirúrgica baseada em vídeo que usa IA e tecnologia de visão computacional para analisar vídeos cirúrgicos. Fornece informações baseadas em dados, anotando momentos críticos e etapas importantes durante os procedimentos, permitindo que cirurgiões e treinandos analisem seu desempenho, identifiquem áreas para melhoria e aprendam com as melhores práticas. Compara o desempenho individual do cirurgião com referências estabelecidas, permitindo avaliações objetivas e feedback personalizado.
CSATS (John-son & Johnson)	Plataforma de revisão e avaliação de vídeo cirúrgico que utiliza IA e análise de dados para avaliar o desempenho cirúrgico. Fornece feedback e recomendações objetivas com base em análises de especialistas e insights orientados por dados. Oferece conteúdo educacional, como palestras e estudos de caso, para ajudar os cirurgiões a melhorarem suas habilidades e técnicas. A CSATS abrange uma ampla gama de especialidades cirúrgicas, incluindo cirurgia geral, ortopedia e urologia.

Sistema	Descrição
Surgical.IA	Plataforma baseada em nuvem que usa IA para analisar vídeos cirúrgicos e extrair dados relevantes para avaliação e melhoria de desempenho. Oferece feedback em tempo real, relatórios de desempenho detalhados e recomendações de práticas recomendadas. Suporta uma ampla gama de procedimentos cirúrgicos e especialidades. Pode ser integrada aos sistemas de gravação de vídeo existentes nas salas de operação, tornando-a facilmente acessível para as equipes cirúrgicas.
Touch Surgery	Aplicativo móvel que fornece simulações cirúrgicas interativas orientadas por IA e pode ser usado para analisar vídeos cirúrgicos para avaliação e melhoria de desempenho. Oferece feedback em tempo real e rastreamento de desempenho. Abrange uma ampla gama de procedimentos cirúrgicos em várias especialidades. Permite que os treinandos pratiquem suas habilidades, testem seus conhecimentos e acompanhem seu progresso ao longo do tempo.

Previsão de desempenho e desenvolvimento de habilidades assistida por IA

Outra aplicação promissora da IA no treinamento cirúrgico é a previsão do desempenho cirúrgico e do desenvolvimento de habilidades dos treinandos. Ao utilizar algoritmos de aprendizado de máquina, os sistemas de IA podem analisar dados históricos de desempenho e identificar padrões que podem ser usados para prever o desempenho futuro e a progressão da técnica¹⁸. Essa capacidade preditiva pode ajudar os instrutores a identificar os alunos que precisam de suporte adicional, bem como otimizar os currículos de treinamento com base em trajetórias de aprendizagem individuais. Com a mudança do aprendizado de currículos de treinamento fixos para currículos baseados em competências, a IA fornece uma avaliação mais objetiva e rápida das curvas de aprendizado dos treinandos.

IA e tecnologias imersivas

A IA está desempenhando um papel importante no avanço dos sistemas de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR), especialmente no campo do treinamento cirúrgico. Essas tecnologias imersivas oferecem cenários de treinamento realistas e interativos, que podem se assemelhar a procedimentos cirúrgicos da vida real²⁴⁻²⁶. Algoritmos de IA podem ser empregados para gerar ambientes complexos e dinâmicos e modelos anatômicos exclusivos baseados em pacientes, permitindo que os treinandos pratiquem várias técnicas e abordagens cirúrgicas em um ambiente controlado e seguro. Além disso, a IA pode facilitar

a adaptação em tempo real dos cenários de VR e AR com base no desempenho do aluno, garantindo uma experiência de aprendizado mais envolvente e eficaz²⁵. O feedback e a avaliação baseados em vídeo estão crescendo rapidamente com a ajuda da IA. As práticas gravadas em vídeo agora são avaliadas automaticamente por algoritmos de IA, e são possíveis recomendações “tipo copiloto” para instrutores ao fornecer feedback aos alunos^{17,25} (Tabela 2).

Grandes modelos de linguagem na educação cirúrgica

Os LLMs, um subconjunto de modelos de IA generativos, ganharam atenção significativa nos últimos anos, devido a sua capacidade de gerar texto humano com base em dados de entrada. Esses modelos são treinados em grandes quantidades de texto de diversas fontes, permitindo-lhes entender e gerar respostas contextualmente apropriadas em vários idiomas e domínios²⁷. Exemplos de LLMs incluem o GPT-3, da OpenAI, e o recém-lançado GPT-4. Apesar dos inúmeros avanços no treinamento cirúrgico assistido por IA, ainda há uma lacuna notável na literatura em relação à aplicação de LLMs para a educação cirúrgica, por exemplo, para facilitar a transcrição e tradução de entradas de feedback de treinadores para alunos em ambientes de avaliação simulados e baseados em vídeo. Essa lacuna é significativa, porque a comunicação eficaz é um aspecto crítico do treinamento cirúrgico, e abordá-la pode levar a melhorias consideráveis na experiência de aprendizado e nos resultados dos treinandos^{28,29}.

Tabela 2. Comparação de alguns sistemas de treinamento de simulação cirúrgica orientados por IA.

Sistema	Descrição
Touch Surgery	Fornecer simulações cirúrgicas interativas usando algoritmos de IA para analisar o desempenho dos usuários e prover feedback em tempo real. Abrange uma ampla gama de procedimentos cirúrgicos em várias especialidades, permitindo que os alunos pratiquem suas habilidades, testem seus conhecimentos e acompanhem seu progresso ao longo do tempo.
Ossio VR	Plataforma de treinamento cirúrgico de realidade virtual que emprega IA para fornecer simulações realistas e imersivas para vários procedimentos cirúrgicos. Oferece métricas de desempenho em tempo real, feedback personalizado e avaliações objetivas, permitindo que os treinandos aprimorem suas habilidades em um ambiente controlado e livre de riscos.
Mimic Technologies	Oferece o Da Vinci Skills Simulator, uma plataforma de simulação projetada para treinamento em cirurgia robótica. Usa algoritmos alimentados por IA para analisar o desempenho dos usuários e fornecer feedback objetivo, com base em várias métricas de desempenho e com foco em diferentes aspectos da cirurgia robótica, incluindo destreza, precisão e eficiência.
Surgical Science	Fornecer soluções de treinamento de simulação, incluindo os sistemas LapSim e EndoSim, projetados para treinamento em cirurgia laparoscópica e endoscópica, respectivamente. Utiliza algoritmos de IA para oferecer feedback em tempo real, avaliações objetivas e rastreamento de desempenho, ajudando os treinandos a desenvolverem suas habilidades e competências em um ambiente seguro e controlado.
Lapp Simulation Training	Usa IA para entender quando os alunos cometem erros durante o treinamento e recomenda que tipo de feedback os instrutores devem fornecer de forma assíncrona. Tem como objetivo aprimorar o processo de aprendizado, oferecendo feedback direcionado, com base no desempenho e nas necessidades individuais do treinando.

Os LLMs demonstraram capacidades notáveis na compreensão e geração de texto semelhante ao humano, tornando-os adequados para tarefas relacionadas à comunicação e processamento de informações²⁷. No treinamento cirúrgico, os LLMs podem ser empregados para transcrever automaticamente o feedback falado fornecido pelos treinadores durante simulações ou avaliações baseadas em vídeo. Essa transcrição pode ser usada para criar um registro escrito do feedback, permitindo que os treinandos revisem e reflitam sobre as sugestões e orientações recebidas.

Os LLMs também podem ser utilizados para traduzir feedback em diferentes idiomas, mesmo em tempo real, superando assim possíveis barreiras linguísticas entre instrutores e treinandos. Com os programas de treinamento cirúrgico atraindo cada vez mais estudantes de diferentes países, as lacunas de linguagem podem ser um desafio significativo para uma comunicação eficaz. Ao utilizarem os LLMs para fornecer tradução em tempo real ou assíncrona, instrutores e treinandos podem se comunicar com mais eficiência, garantindo que o feedback valioso seja transmitido e compreendido com precisão³⁰.

Outra aplicação potencial de LLMs no treinamento cirúrgico é a extração e resumo de

informações importantes de grandes volumes de dados de feedback³¹. Ao analisar o feedback de vários treinadores ou de várias instâncias de treinamento, os LLMs podem identificar temas ou padrões recorrentes e fornecer aos alunos resumos concisos e acionáveis. Essa abordagem pode ajudar os treinandos a priorizarem seus objetivos de aprendizado e se concentrarem nas áreas mais críticas para melhoria.

Da mesma forma, os sistemas LLM têm o potencial de melhorar o desempenho dos instrutores, fornecendo correções e feedback em tempo real, ajudando-os a atender aos parâmetros mínimos e melhorando gradualmente suas habilidades de comunicação com os alunos. O melhor especialista clínico nem sempre é o melhor em ensinar e transmitir experiências de aprendizagem. No entanto, o feedback semântico de um sistema automático de inteligência artificial pode ajudar o usuário a perceber áreas de melhoria em suas habilidades de ensino.

Desafios dos LLMs no treinamento cirúrgico

A integração de LLMs ao treinamento cirúrgico apresenta vários desafios, incluindo garantir a precisão

e a confiabilidade das transcrições e traduções por eles geradas, abordar questões éticas e de privacidade e lidar com possíveis vieses nos modelos de IA. Abaixo, exploramos esses desafios com mais detalhes:

- **Precisão e confiabilidade:** as transcrições e traduções geradas pelo LLM devem ser precisas e confiáveis, para evitar mal-entendidos ou interpretações erradas que possam afetar negativamente o processo de aprendizagem. Transcrições imprecisas podem fazer com que os treinandos percam feedback crucial ou tomem decisões impróprias com base em informações incorretas. Garantir a qualidade do conteúdo gerado pelo LLM requer monitoramento, validação e aprimoramento contínuos dos modelos, para minimizar erros e maximizar o valor dos resultados gerados pela IA.
- **Preocupações éticas e de privacidade:** o uso de feedback gerado por IA no treinamento cirúrgico pode levantar questões éticas e de privacidade, principalmente quando informações confidenciais do paciente estão envolvidas. Garantir a conformidade com os regulamentos de proteção de dados, como o Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA), nos Estados Unidos, ou o General Data Protection Regulation (GDPR), na União Europeia, é essencial. A implementação de técnicas de anonimização de dados, armazenamento seguro e protocolos de transmissão e controles de acesso podem ajudar a proteger informações confidenciais e manter a confidencialidade do paciente.
- **Viés em modelos de IA:** algoritmos de IA, incluindo LLMs, podem inadvertidamente propagar vieses presentes nos dados de treinamento. Esses preconceitos podem se manifestar na forma de estereótipos de gênero, raciais ou culturais, levando potencialmente a um feedback injusto ou discriminatório. Para resolver esse problema, é essencial desenvolver modelos de IA transparentes e justos, usando dados de treinamento diversos e representativos, aplicando técnicas de mitigação de vieses e testando rigorosamente

os algoritmos para sua identificação e correção.

- **Integração com sistemas de treinamento existentes:** a integração de LLMs ao treinamento cirúrgico pode exigir modificações substanciais nas plataformas e fluxos de trabalho de treinamento existentes. Esse processo pode ser complexo e demorado, exigindo estreita colaboração entre desenvolvedores, instrutores e treinandos, para garantir uma integração perfeita e minimizar interrupções no processo de treinamento.
- **Treinamento e adoção:** A implementação bem-sucedida de LLMs no treinamento cirúrgico exige que os instrutores, treinandos e suas instituições se adaptem às novas tecnologias e seus fluxos de trabalho. Isso pode envolver o fornecimento de treinamento adicional para familiarizar os usuários com as ferramentas de IA e lidar com qualquer resistência à mudança. Garantir a aceitação do usuário é crucial para a adoção e uso eficazes de LLMs em ambientes de treinamento cirúrgico.
- **Custo e Talento:** A implementação de inteligência artificial no treinamento cirúrgico requer investimento financeiro substancial e conhecimento humano especializado. Embarcar em um projeto de IA pode acarretar despesas consideráveis, dificultando a realização inicial de uma avaliação adequada de custo-benefício. No entanto, grandes empresas têm investido significativamente no desenvolvimento de algoritmos que podem ser adaptados a domínios específicos, aumentando assim o seu potencial. Embora os custos iniciais destes serviços possam ser elevados, prevê-se que estes diminuam ao longo do tempo, como é típico da evolução tecnológica. Atualmente, o custo e a infraestrutura necessários para incorporar a IA ao treinamento cirúrgico continuam a representar desafios significativos.

Enfrentar esses desafios é essencial para aproveitar todo o potencial dos LLMs no treinamento cirúrgico e garantir sua integração bem-sucedida a programas de treinamento e instituições educacionais. Ao se identificar e abordar proativamente esses desafios, é possível

desenvolver soluções eficazes de treinamento cirúrgico assistido por IA, que podem melhorar a comunicação, aprimorar a experiência de aprendizado e, por fim, contribuir para melhores resultados para os pacientes.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A integração da IA em nossa sociedade e atividades diárias começou progressivamente. Assim como em outras tecnologias, o campo cirúrgico adotou rapidamente alguns de seus benefícios, e a complexidade do treinamento cirúrgico tornou a IA um empreendimento interessante. Apresentamos duas maneiras principais pelas quais as tecnologias relacionadas à IA estão se tornando parte da experiência de ensino.

Em primeiro lugar, métodos de avaliação aprimorados por IA estão sendo usados. A aquisição de habilidades envolve um instrutor, um treinando, ferramentas de avaliação, fornecimento de feedback e uma instância de treinamento. Descrevemos algumas das ferramentas ou aplicativos disponíveis que podem otimizar a integração desses cinco aspectos do treinamento cirúrgico. As plataformas baseadas em vídeo têm mostrando resultados promissores, permitindo não apenas uma avaliação orientada por IA (usando várias medições), mas também fornecendo feedback relevante com base em dados anteriores e contemporâneos. Por outro lado, as tecnologias baseadas em LLM abordam questões de comunicação que são críticas para o processo de aprendizagem. Mesmo quando métricas precisas e acompanhamento formidável do progresso são garantidos, o feedback e o conhecimento devem ser fornecidos corretamente, para proverem melhorias significativas ao aluno. Os LLMs podem ajudar a garantir que os conceitos sejam transmitidos de forma eficaz, sugerir feedback aos instrutores e ajudar a superar as barreiras do idioma, traduzindo-o em tempo real.

Apesar dos inúmeros benefícios, a implementação de tecnologias baseadas em IA, e especialmente LLMs, no treinamento cirúrgico apresenta desafios significativos, que podem ser abordados de duas perspectivas. Em primeiro lugar, do ponto de vista tecnológico, a integração de ferramentas e plataformas baseadas em IA na educação cirúrgica diária requer um novo “know-how” e a integração de sistemas novos e “legados” pode ser disruptiva, difícil e cara. A integração cuidadosa e gradual pode reduzir a

resistência a essas tecnologias inovadoras, principalmente em instituições mais experientes e tradicionais. Em segundo lugar, de uma perspectiva educacional, podem surgir preocupações com relação à confiabilidade de avaliações, feedback e insumos “automáticos”. Sobre esse tópico, é importante entender que a IA é um modelo probabilístico usado para analisar dados, empregando tecnologia de computação de alta potência para organizar informações de várias fontes. Atualmente, a IA não cria informações no sentido estrito da palavra, portanto, muitas de suas limitações e erros são atribuíveis à baixa qualidade ou insuficiência de suas fontes. Pesquisas e desenvolvimentos futuros devem ter como objetivo identificar as melhores fontes e fornecer filtros para evitar que informações imprecisas afetem os resultados do algoritmo. É nossa responsabilidade desenvolver e aplicar medidas de segurança para rastrear as interações e identificar quaisquer problemas que possam levar a mal-entendidos ou impactar negativamente a experiência de aprendizado. Garantir a proteção de dados, reduzir o viés e testar o real impacto educacional das ferramentas baseadas em IA são outros desafios significativos que enfrentaremos ao adotar essas tecnologias.

Além das considerações técnicas, é essencial destacar os desafios éticos e legais associados ao uso de IA e LLMs na prática cirúrgica.

Do ponto de vista ético, IA e LLMs em cirurgia levantam várias preocupações. O primeiro diz respeito à autonomia do paciente e ao consentimento informado. É crucial garantir que os pacientes entendam completamente a natureza e a extensão do envolvimento de IA e LLM em seu tratamento. Dada a complexidade dessas tecnologias, transmitir essas informações de uma forma que um leigo possa entender é um desafio.

A segunda preocupação ética diz respeito à responsabilidade. Nos casos em que a IA ou um LLM podem cometer um erro ou fornecer conselhos abaixo do ideal, não está imediatamente claro quem seria responsabilizado – os desenvolvedores, os médicos que confiam na tecnologia ou as instituições que a adotam. Essa ambigüidade pode levar a dilemas éticos na prática.

Em terceiro lugar, há a questão do viés e da justiça. LLMs são treinados em vastos conjuntos de dados e podem inadvertidamente perpetuar vieses existentes nesses dados, levando a resultados de tratamento desiguais. Por

exemplo, se os dados de treinamento forem direcionados para um determinado grupo demográfico, a IA pode ser menos eficaz quando aplicada a pacientes de grupos demográficos sub-representados.

Voltando aos desafios legais, a aplicação de IA e LLMs na prática cirúrgica situa-se na interseção de vários domínios legais, incluindo proteção de dados, direitos de propriedade intelectual e negligência médica. A capacidade da IA de processar grandes quantidades de dados do paciente levanta questões sobre privacidade e segurança dos dados. Além disso, quem detém os direitos de propriedade intelectual das técnicas ou invenções cirúrgicas assistidas por IA e LLM? Esta é uma área do direito que ainda está evoluindo e ainda precisa acompanhar os rápidos avanços tecnológicos.

No caso de um resultado adverso, a responsabilidade legal também é uma área cinzenta. Se ocorrer um erro devido ao conselho ou assistência de uma IA ou LLM, as doutrinas tradicionais de negligência médica podem não se aplicar. O uso da IA pode confundir as linhas de responsabilidade, dificultando a determinação de quem é o culpado.

Embora os benefícios potenciais da IA e dos LLMs no treinamento cirúrgico sejam significativos, é importante reconhecer e discutir as limitações inerentes a essas tecnologias. Primeiro, IA e LLMs dependem dos dados nos quais são treinados. Se os dados forem incompletos, tendenciosos ou não representativos da variedade de casos que um cirurgião pode encontrar, o treinamento e o aconselhamento fornecidos podem ser inadequados. Além disso, essas tecnologias podem carecer da compreensão diferenciada de um treinador humano, que pode interpretar pistas visuais complexas e se adaptar ao estilo de aprendizado individual do aluno de uma forma

que a IA e os LLMs atualmente não conseguem.

Outra limitação é o risco de dependência excessiva da tecnologia. Os treinandos cirúrgicos podem depender muito de IA e LLMs, o que pode prejudicar o desenvolvimento de habilidades de tomada de decisão independente. Além disso, os altos custos associados ao desenvolvimento e implementação de IA e LLMs podem tornar essas tecnologias inacessíveis para algumas instituições, exacerbando as desigualdades existentes no treinamento cirúrgico.

Olhando para o futuro, várias direções de pesquisa interessantes estão surgindo. Precisamos de estudos rigorosos, avaliando o impacto da IA e dos LLMs no desempenho cirúrgico no longo prazo e nos resultados dos pacientes, o que pode ajudar a validar a eficácia dessas tecnologias. Novas abordagens também podem ser exploradas, como a integração de IA e LLMs com realidade virtual ou aumentada, para criar experiências imersivas de treinamento cirúrgico. Além disso, a pesquisa deve abordar as limitações acima mencionadas. Por exemplo, os estudos podem investigar como combinar efetivamente IA e orientação humana no treinamento cirúrgico ou como tornar essas tecnologias mais acessíveis a uma gama mais ampla de instituições.

Como conclusão, à medida que a tecnologia avança e a inteligência artificial se torna mais integrada ao campo médico, é crucial abordar os vários desafios e limitações a ela associados, enquanto se exploram novas aplicações e oportunidades na educação cirúrgica. Ao abraçar o poder transformador da IA, o futuro do treinamento cirúrgico pode ser reformulado, para fornecer uma experiência de aprendizado mais abrangente, segura e eficaz para os treinandos.

REFERÊNCIAS

A B S T R A C T

The landscape of surgical training is rapidly evolving with the advent of artificial intelligence (AI) and its integration into education and simulation. This manuscript aims to explore the potential applications and benefits of AI-assisted surgical training, particularly the use of large language models (LLMs), in enhancing communication, personalizing feedback, and promoting skill development. We discuss the advancements in simulation-based training, AI-driven assessment tools, video-based assessment systems, virtual reality (VR) and augmented reality (AR) platforms, and the potential role of LLMs in the transcription, translation, and summarization of feedback. Despite the promising opportunities presented by AI integration, several challenges must be addressed, including accuracy and reliability, ethical and privacy concerns, bias in AI models, integration with existing training systems, and training and adoption of AI-assisted tools. By proactively addressing these challenges and harnessing the potential of AI, the future of surgical training may be reshaped to provide a more comprehensive, safe, and effective learning experience for trainees, ultimately leading to better patient outcomes. .

Keywords: Artificial Intelligence. Education, Medical. Learning Curve.

1. Halsted. The training of the surgeon. *JAMA*. 1904;XLIII(21):1553-4. doi:10.1001/jama.1904.02500210043006.
2. Ortiz C, Vela J, Contreras C, Belmar F, Paul I, Zinco A, et al. A new approach for the acquisition of trauma surgical skills: an OSCE type of simulation training program. *Surg Endosc*. 2022;36(11):8441–50. doi: 10.1007/s00464-022-09098-w.
3. Tejos R, Avila R, Inzunza M, Achurra P, Castillo R, Rosberg A, et al. Impact of a simulated laparoscopic training program in a three-year General Surgery Residency. *Arq Bras Cir Dig*. 2019;32(2):e1436. doi: 10.1590/0102-672020190001e1436.
4. Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills--changes in the wind. *N Engl J Med*. 2006;355(25):2664–9. doi: 10.1056/NEJMra054785.
5. Aggarwal R, Mytton OT, Derbrew M, Hananel D, Heydenburg M, Issenberg B, et al. Training and simulation for patient safety. *Qual Saf Health Care*. 2010;19 Suppl 2(Suppl 2):i34-43. doi: 10.1136/qshc.2009.038562.
6. Guerrero DT, Asaad M, Rajesh A, Hassan A, Butler CE. Advancing Surgical Education: The Use of Artificial Intelligence in Surgical Training. *Am Surg*. 2023;89(1):49-54. doi: 10.1177/00031348221101503.
7. Ward TM, Mascagni P, Madani A, Padoy N, Perretta S, Hashimoto DA. Surgical data science and artificial intelligence for surgical education. *J Surg Oncol*. 2021;124(2):221-30. doi: 10.1002/jso.26496.
8. Mirchi N, Bissonnette V, Yilmaz R, Ledwos N, Winkler-Schwartz A, Maestro D. The Virtual Operative Assistant: An explainable artificial intelligence tool for simulation-based training in surgery and medicine. *PLoS one*. 2020;15(2):e0229596. doi: 10.1371/journal.pone.0229596.
9. Bilgic E, Gorgy A, Young M, Abbasgholizadeh-Rahimi S, Harley JM. Artificial intelligence in surgical education: Considerations for interdisciplinary collaborations. *Surg Innov*. 2022;29(2):137–8. doi: 10.1177/15533506211059269.
10. Park JJ, Tiefenbach J, Demetriades AK. The role of artificial intelligence in surgical simulation. *Front Med Technol*. 2022;4:1076755. doi: 10.3389/fmedt.2022.1076755.
11. Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. *Deep learning*. MIT Press; 2016.
12. Murphy KP. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press; 2012.
13. Hirschberg J, Manning CD. Advances in natural language processing. *Science*. 2015;349(6245):261–6. doi: 10.1126/science.aaa8685.
14. Jackson P. *Introduction to Expert Systems*. Singapore, Singapore: Addison Wesley Longman; 1990.
15. Andersen DK. Fundamentals of surgical simulation: Principles and practices. *JAMA*. 2012;307(9):974. doi: 10.1001/jama.2012.246.
16. Boza C, León F, Buckel E, Riquelme A, Crovari F, Martínez J, et al. Simulation-trained junior residents perform better than general surgeons on advanced laparoscopic cases. *Surg Endosc*. 2017;31(1):135–41. doi: 10.1007/s00464-016-4942-6.
17. Belmar F, Gaete MI, Escalona G, Carnier M, Durán V, Villagrán I, et al. Artificial intelligence in laparoscopic simulation: a promising future for large-scale automated evaluations. *Surg Endosc*. 2023;37(6):4942–6. doi: 10.1007/s00464-022-09576-1.
18. Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial intelligence in surgery: Promises and perils. *Ann Surg*. 2018;268(1):70–6. doi: 10.1097/SLA.0000000000002693.
19. Gumbs AA, Frigerio I, Spolverato G, Croner R, Illanes A, Chouillard E, et al. Artificial intelligence surgery: How do we get to autonomous actions in surgery? *Sensors (Basel)*. 2021;21(16):5526. doi: 10.3390/s21165526.
20. Ward TM, Mascagni P, Madani A, Padoy N, Perretta S, Hashimoto DA. Surgical data science and artificial intelligence for surgical education. *J Surg Oncol*. 2021;124(2):221–30. doi: 10.1002/jso.26496.
21. Maier-Hein L, Eisenmann M, Sarikaya D, März K, Collins T, Malpani A, et al. Surgical data science

- from concepts toward clinical translation. *Med Image Anal.* 2022;76(102306):102306. doi: 10.1016/j.media.2021.102306.
22. Twinanda AP, Shehata S, Mutter D, Marescaux J, de Mathelin M, Padoy N. EndoNet: A deep architecture for recognition tasks on laparoscopic videos. *IEEE Trans Med Imaging.* 2017;36(1):86–97. doi: 10.1109/tmi.2016.2593957.
 23. Gumbs A, Grasso V, Bourdel N, Croner R, Spolverato G, Frigerio I, et al. The advances in computer vision that are enabling more Autonomous Actions in surgery: A systematic review of the literature. *Sensors (Basel).* 2022;22(13):4918. doi: 10.3390/s22134918.
 24. Khan R, Plahouras J, Johnston BC, Scaffidi MA, Grover SC, Walsh CM. Virtual reality simulation training in endoscopy: a Cochrane review and meta-analysis. *Endoscopy.* 2019;51(7):653–64. doi: 10.1055/a-0894-4400.
 25. von Ende E, Ryan S, Crain MA, Makary MS. Artificial intelligence, augmented reality, and virtual reality advances and applications in interventional radiology. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(5). doi: 10.3390/diagnostics13050892.
 26. Schmidt MW, Köppinger KF, Fan C, Kowalewski K-F, Schmidt LP, Vey J, et al. Virtual reality simulation in robot-assisted surgery: meta-analysis of skill transfer and predictability of skill. *BJS Open.* 2021;5(2). doi: 10.1093/bjsopen/zraa066.
 27. Brown TB, Mann B, Ryder N, Subbiah M, Kaplan J, Dhariwal P, et al. Language Models are Few-Shot Learners. arXiv:2005.14165v4. 2020:1-75. doi: 10.48550/arXiv.2005.14165.
 28. Ötleş E, Kendrick DE, Solano QP, Schuller M, Ahle SL, Eskender MH, et al. Using natural language processing to automatically assess feedback quality: Findings from 3 surgical residencies. *Acad Med.* 2021;96(10):1457–60. doi: 10.1097/acm.0000000000004153.
 29. Tustumi F, Andreollo NA, Aguilar-Nascimento JE de. Future of the language models in healthcare: The role of ChatGPT. *ABCD Arq Bras Cir Dig.* 2023;36:e1727. doi: 10.1590/0102-672020230002e1727.
 30. Belmar F, Gaete MI, Durán V, Chelebifski S, Jarry C, Ortiz C, et al. Taking advantage of asynchronous digital feedback: development of an at-home basic suture skills training program for undergraduate medical students that facilitates skills retention. *Global Surg Educ.* 2023;2(1):32. doi: 10.1007/s44186-023-00112-w.
 31. Solano QP, Hayward L, Chopra Z, Quanstrom K, Kendrick D, Abbott KL, et al. Natural language processing and assessment of resident feedback quality. *J Surg Educ.* 2021;78(6):e72–7. doi: 10.1016/j.jsurg.2021.05.012.

Recebido em: 07/06/2023

Aceito para publicação em: 14/07/2023

Conflito de interesses: Dr. Julian Varas é o fundador da Training Competence, uma startup oficial da Pontificia Universidad Católica de Chile. O Dr. Gabriel Escalona é o diretor de produtos desta startup. Ignacio Villagrán é consultor desta startup. A Training Competence e a Pontificia Universidad Católica de Chile são as titulares dos direitos e distribuição da plataforma LAPP mencionada neste estudo.

Fonte de financiamento: Os autores gostariam de agradecer a Agência Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (ANID)

no Programa de Bolsas DOCTORADO BECAS CHILE/2020 – 21202032, o Centro Nacional de Inteligência Artificial (CENIA), parte do financiamento ANID Basal FB210017 e bolsas de pesquisa chilenas FONDECYT N° 1221490, 190616011 e 11201338.

Endereço para correspondência:

Julian Varas

E-mail: jevaras@uc.cl

