

<https://doi.org/10.65027/2447-3405.2026.1084>

8 APLICAÇÕES DA LAPAROSCOPIA ASSISTIDA POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM COLECISTECTOMIAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED LAPAROSCOPY IN CHOLECYSTECTOMIES: AN SYSTEMATIC REVIEW

Agnes Marinho Maia da Silva **Dias**¹, Annelyse Vitória Souza **Barbosa**¹, Helenna Lobo **Mamede**¹, Karytha Suelen Mariano Martins **Vieira**¹, Larissa Kenia de Oliveira Barros **Santos**¹, Layane Barbosa Filemon **Pinto**¹, Amarildo Lemos Dias **Moura**²

1. Graduando em Medicina pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás).

2. Docente, Mestre em Biologia Celular e Molecular pela Universidade Federal do Goiás, Professor Efetivo da Escola de Ciências Médicas e da Vida da PUC Goiás

RESUMO

Introdução: A colecistectomia laparoscópica (CL) foi um grande avanço no manejo da colelitíase e colecistite, e hoje é considerada uma cirurgia endoscópica de nível introdutório. Apesar das baixas complicações, a lesão do ducto biliar na CL é significativa. A inteligência artificial (IA) é uma tecnologia baseada no uso de algoritmos para simular funções cognitivas humanas. Nesse estudo foi explorado a aplicação dessa tecnologia em colecistectomias laparoscópicas.

Objetivo: Analisar as aplicações da inteligência artificial em colecistectomias laparoscópicas e seu impacto na segurança do procedimento. **Metodologia:** Foi realizada uma revisão sistemática da literatura seguindo as recomendações PRISMA e os critérios PECO utilizando a base de dados acadêmica PubMed. **Resultados:** A IA mostrou precisão superior em tarefas críticas durante colecistectomias, como o reconhecimento anatômico e a identificação de fases cirúrgicas, demonstrando potencial para aumentar a segurança da colecistectomia laparoscópica e reduzir a ocorrência de lesões do ducto biliar durante o procedimento. **Discussão:** Os achados indicam que a IA constitui uma ferramenta viável para auxiliar a prática cirúrgica. Por meio de feedback em tempo real, essa tecnologia contribui para o aprimoramento das habilidades técnicas, redução de erros e suporte à tomada de decisões, favorecendo melhor desempenho cirúrgico e maior segurança operatória. **Conclusão:** Evidencia-se que a evolução da tecnologia e da medicina permitiram a associação entre a IA e CL. Essa integração é capaz de aumentar o desempenho e de ser usada como suporte nas decisões médicas, além de reduzir riscos cirúrgicos.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência artificial; Aprendizagem profunda; Colecistectomia laparoscópica.

ABSTRACT

Introduction: Laparoscopic cholecystectomy (LC) was a major advance in the management of cholelithiasis and cholecystitis, and is now considered an introductory-level endoscopic surgery. Despite low complications, bile duct injury in LC is significant. Artificial intelligence (AI) is a technology based on the use of algorithms to simulate human cognitive functions. This study explored the application of this technology in laparoscopic cholecystectomies. **Objective:** To analyze the applications of artificial intelligence in laparoscopic cholecystectomies and its impact on procedural safety. **Methodology:** A systematic literature review was carried out following the PRISMA recommendations and PECO criteria using the PubMed academic database. **Results:** AI demonstrated accuracy in critical tasks during cholecystectomies, such as anatomical recognition and the identification of surgical stages, showing potential to enhance the safety of laparoscopic cholecystectomy and reduce the incidence of bile duct injuries during the procedure. **Discussion:** The findings indicate that AI is a viable tool to assist in surgical practice. Through real-time feedback, this technology contributes to the improvement of technical skills, the reduction of errors, and decision-making support, thereby promoting better surgical performance and greater operative safety. **Conclusion:** It is evident that the evolution of technology and medicine has enabled the association between AI and CL. This integration is capable of increasing performance and being used to support medical decisions, as well as reducing surgical risks.

KEYWORDS: Artificial intelligence; Deep learning; Laparoscopic cholecystectomy.

INTRODUÇÃO

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) tem ganhado destaque em inúmeras áreas, especialmente nos campos médicos, como na radiologia e na patologia¹. A IA, ramo da ciência da computação, baseia-se no uso de algoritmos para simular funções cognitivas humanas, detecção e classificação de objetos, e, se usada com grandes quantidades de dados, pode identificar estruturas corporais relevantes em um determinado procedimento médico. Com a progressão da visão computacional e criação de algoritmos mais avançados, as habilidades e possibilidades de previsão cresceram em uma velocidade exponencial. Desse modo, o valor da IA no centro cirúrgico pode se tornar um sucesso².

Quando comparado com a radiologia diagnóstica, as cirurgias, com os vídeos e os planos, possuem maior variação quanto aos objetos dentro de campo que nunca estão claramente delineados, ficando parcialmente ou completamente obscuros sob tecidos fibrosos e gordurosos². Portanto, o cirurgião fica embasado apenas em seu próprio conhecimento sobre posição anatômica, situação que pode levar a interpretações errôneas das informações do campo cirúrgico, elevando o risco de complicações intraoperatórias. Desse modo, o uso da IA pode auxiliar e fornecer essas informações ao cirurgião, o que é essencial para melhorar a eficiência e a segurança da operação³.

A colecistectomia laparoscópica (CL), um dos procedimentos mais aceitos e usados no mundo, é considerado o procedimento padrão para colelitíase e/ou colecistite. É uma operação realizada por médicos especialistas, além de ser considerada uma cirurgia endoscópica de nível introdutório⁴. Apesar da taxa geral de complicações e lesões da CL ser muito baixa, a lesão iatrogênica do ducto biliar (IBDI) é uma complicação extremamente importante da colecistectomia e sua incidência depende da anatomia do paciente, de erros técnicos e da natureza da patologia, podendo ocasionar inúmeras sequelas¹. Então, visando diminuir o risco de complicações da CL, incluindo a IBDI, com o uso da IA, algoritmos estão sendo desenvolvidos para auxiliar no processo de tomada de decisão médica antes, durante e depois dos procedimentos⁵.

Embora estudos recentes tenham demonstrado aplicações promissoras da IA na colecistectomia laparoscópica, especialmente no reconhecimento de estruturas anatômicas, na identificação de fases cirúrgicas e no suporte à tomada de decisão, os resultados disponíveis encontram-se distribuídos entre diferentes aplicações, métodos e níveis de complexidade cirúrgica. Essa heterogeneidade dificulta a compreensão integrada do potencial dessa tecnologia para a segurança do procedimento, particularmente na prevenção de eventos adversos relacionados à identificação inadequada da anatomia biliar.

Diante desse cenário, torna-se relevante sintetizar as evidências disponíveis acerca das aplicações da inteligência artificial na colecistectomia laparoscópica e de sua contribuição para a segurança cirúrgica. O avanço da IA nesse campo tem demonstrado potencial para aumentar o desempenho cirúrgico e auxiliar na tomada de decisões médicas, especialmente por meio do reconhecimento de estruturas anatômicas, da identificação de fases cirúrgicas e de zonas de segurança para dissecação, contribuindo para a redução de riscos durante o procedimento. Assim, este estudo teve como objetivo responder a seguinte pergunta científica: quais são as aplicações da IA na colecistectomia laparoscópica e qual é o seu impacto na segurança do procedimento?

METODOLOGIA

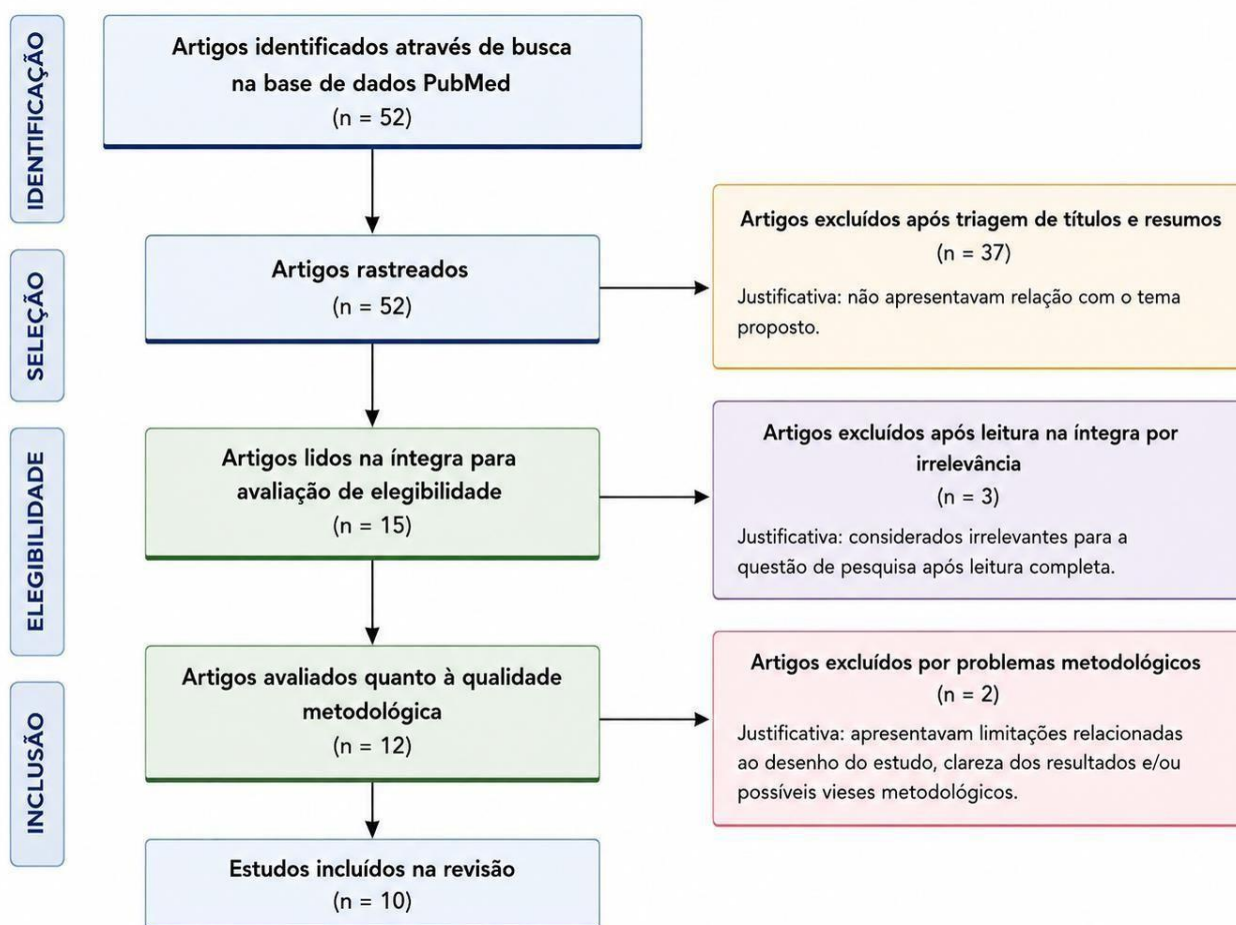
Dentro dos vastos avanços tecnológicos em cirurgia, um dos mais promissores é o uso de ferramentas integradas com Inteligência Artificial (IA) no campo cirúrgico. Buscando oferecer uma perspectiva atualizada sobre esse tema, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, construída de acordo com as recomendações da PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), para integrar dados sobre o uso de IA nas colecistectomias laparoscópicas.

Para chegar na questão norteadora foi utilizado o acrônimo PECO, conforme estabelecido pelo Ministério da Saúde. Os critérios PECO utilizados foram: (P) participantes que realizaram a cirurgia de colecistectomia assistida por IA, (E) exposição relacionada ao procedimento cirúrgico, (C) comparação de resultados (segurança, intercorrências e pós-operatório) entre colecistectomias laparoscópicas com e sem uso de IA, e (O) desfecho expondo a melhoria da segurança durante a cirurgia, relacionada a menos complicações.

A busca bibliográfica foi realizada na base de dados eletrônicos *PubMed* Central (08h GMT - 3, 5 de julho de 2024), e foram considerados dados de estudos observacionais, pesquisas qualitativas e revisões publicados nos últimos 10 anos e disponíveis na íntegra. Os descritores utilizados foram *CHOLECYSTECTOMY* e *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, combinados pelo operador booleano "AND", sendo as palavras-chave de pesquisa descritas como: *Cholecystectomy AND artificial intelligence*. Foram aplicados filtros "Last 10 years", "Free full text" e "Humans".

A busca inicial identificou 52 resultados. Após a análise dos estudos recuperados, 40 foram excluídos por não apresentarem relação com o tema proposto ou por serem considerados irrelevantes para a questão de pesquisa. Outros dois estudos foram excluídos por apresentarem limitações relacionadas à qualidade metodológica, considerando aspectos como o desenho da pesquisa, a clareza dos resultados e a possibilidade de vieses. Ao final do processo de seleção, 10 estudos foram incluídos na revisão, **Figura 1**.

Figura 1: Resultados de busca na literatura



Fonte: Próprio autor

Para a extração dos dados, foram analisados os objetivos, as principais descobertas e as conclusões dos estudos selecionados. Também foram consideradas características metodológicas dos trabalhos, incluindo o desenho da pesquisa, o tamanho e a diversidade das amostras e a clareza na apresentação dos resultados. Os dados extraídos foram organizados de forma descritiva e apresentados em tabela, contemplando o título dos estudos, autores, ano de publicação e principais resultados. O estudo é uma Revisão Sistemática baseada na análise de artigos já publicados, logo, não se fez necessária aprovação ética, conforme resolução nº 466/12 e Resolução nº 510/16.

RESULTADOS

Neste estudo, a IA mostrou uma precisão superior a 80% em tarefas críticas durante colecistectomias assistidas, como reconhecimento anatômico e identificação de condições como aderências, colecistite e sangramento². Um resumo dos artigos selecionados pode ser encontrado na **Tabela 01**.

A IA desempenha um papel crucial na educação de estagiários e cirurgiões em formação, oferecendo orientação para a execução de colecistectomias e ajudando na identificação anatômica. Com sua capacidade de detectar variações anatômicas e fornecer *feedback* em tempo real, a IA reduz erros durante os procedimentos, promovendo um aprendizado mais seguro e eficaz^{3,4}.

A IA permite que médicos monitorem e avaliem seu desempenho cirúrgico, identificando áreas de melhoria e fornecendo *insights* para aperfeiçoar técnicas¹. O uso da IA na colecistectomia pode transformar o processo, melhorando o aprendizado, a identificação anatômica e a detecção de complicações. Com *feedback* em tempo real, a IA aprimora habilidades, reduz erros, otimiza prontuários e auxilia na tomada de decisões, elevando o desempenho cirúrgico e a gestão médica⁶.

Tabela 01: Síntese dos estudos incluídos na revisão sobre inteligência artificial em colecistectomias laparoscópicas.

TÍTULO	AUTORES	ANO DE PUBLICAÇÃO	PRINCIPAIS RESULTADOS
Artificial Intelligence for Phase Recognition in Complex Laparoscopic Cholecystectomy ¹	Tomer Golany, Amit Aides, et al.	2022	Os dois softwares de IA alcançaram mais de 70% de precisão em aspectos gerais, como qualidade e avaliação cirúrgica. No entanto, houve uma previsão incorreta em 12% dos casos na dissecação do triângulo de Calot e na preparação inicial. A precisão foi de 92% em cirurgias de complexidade nível 1 a 3, e 89% nos níveis 4 e 5.
Artificial Intelligence for Intraoperative Guidance: Using Semantic Segmentation to Identify Surgical Anatomy During Laparoscopic Cholecystectomy ²	Amin Madani, Babak Namazi, et al.	2022	Com os vídeos observados pela IA, mostrou-se que a precisão para identificação pixel a pixel foi consistentemente maior que 90% para todas as estruturas. Outrossim, pode-se notar que a IA consegue ponderar a presença de colecistite, na necessidade de lise de aderências e presença de sangramento ou vazamento de bile.
Artificial Intelligence Software Available for Medical Devices: Surgical Phase Recognition in Laparoscopic Cholecystectomy ³	Shinozuka, Sayaka Turuda, et al.	2022	O estudo observou que IA apresentou uma precisão geral de 97%, mas caiu para 70% em fases específicas, como a secção do ducto cístico. Isso sugere menor precisão durante etapas críticas, especialmente na secção do ducto e na incisão do colo da vesícula biliar.
Development of an Artificial Intelligence System Using Deep Learning to Indicate Anatomical Landmarks During Laparoscopic Cholecystectomy ⁴	Tatsushi Tokuyasu, Yukio Iwashita, et al.	2021	Neste estudo, o modelo de IA YOLOv3 foi utilizado para reconhecer marcos anatômicos, como o ducto biliar comum, o ducto cístico, a borda inferior do segmento hepático medial esquerdo e o sulco de Rovere. As precisões para esses marcos foram 0,320; 0,074; 0,314 e 0,0101, respectivamente.
Machine Learning-Based Analysis in the Management of Iatrogenic Bile Duct Injury During Cholecystectomy: a Nationwide Multicenter Study ⁵	Victor Lopez-Lopez, Javier Maupoey, et al.	2022	O estudo destaca a capacidade da IA em prever o sucesso do reparo inicial e avaliar o risco de lesão iatrogênica do ducto biliar, ressaltando a importância da especialização hospitalar. Esses modelos fornecem suporte à decisão e se adaptam melhor aos dados que os modelos tradicionais. Além disso, são dinâmicos, permitindo aprimoramentos contínuos com novos dados.
Surgical Reporting for Laparoscopic Cholecystectomy Based on Phase Annotation by a Convolutional Neural Network (CNN) and the Phenomenon of Phase Flickering: a Proof of Concept ⁶	M.Berlet, T.Vogel, D.Ostier, et al	2022	O sistema oferece uma análise de eventos adversos com boa sensibilidade e especificidade, apesar de uma concordância de 79,7% entre a anotação das redes neurais convolucionais (CNN) e a humana. A abordagem permite relatórios flexíveis e pode ser aplicada a diferentes procedimentos cirúrgicos, ajudando, assim, na escrita do prontuário médico.
Telestration with Augmented Reality Improves the Performance of the First ten Ex-vivo Porcine Laparoscopic Cholecystectomies: Randomized Controlled Study ⁷	Amila Cizmic, et al.	2023	O treinamento com o iSurgeon levou a pontuações mais altas na avaliação global e específica, com significância estatística ($p < 0,001$), e melhores pontuações GOALS. O estudo randomizado mostrou que a orientação visual com o iSurgeon melhorou o desempenho e reduziu complicações em colecistectomias laparoscópicas, em comparação com a orientação verbal.
Comparative Validation of Machine Learning Algorithms for Surgical	Martin Wagner, Beat-Peter, Muller-Stich, et al.	2023	O estudo introduz o benchmark HeiChole, com dados para analisar colecistectomias laparoscópicas, incluindo detecção de fase,

<i>Workflow and Skill Analysis with the HeiChole Benchmark⁸</i>			instrumento, ação e habilidade. Com anotação confiável e publicação aberta, o HeiChole permite comparar algoritmos e identificar limitações. O reconhecimento de fase teve 92% de precisão, mas a detecção de ação e instrumentos ainda enfrenta desafios.
<i>A Contextual Detector of Surgical Tools in Laparoscopic Videos Using Deep Learning⁹</i>	Babak Namazi, Ganesh Sankaranara Yanan, et al.	2022	Com as ferramentas cirúrgicas que detectam a localização a posição e movimento houve uma melhora na tomada de decisão, através do <i>feedback</i> em tempo real para o cirurgião e equipe.
<i>Using Neural Networks to Autonomously Assess Adequacy in Intraoperative Cholangiograms¹⁰</i>	Henrique Badgery, Yuning Zhou	2024	O estudo comparou as redes DeeplabV3+ e U-Net na segmentação de colangiogramas, com coeficientes F1 de 0,70 e 0,64. A U-Net foi melhor em classes menores, enquanto a DeeplabV3+ destacou-se na identificação de ductos biliares. Ambos enfrentaram dificuldades com defeitos de preenchimento, e o estudo sugere melhorias com mais dados e vídeos dinâmicos.

Fonte: próprio autor

DISCUSSÃO

A colecistectomia por laparoscopia (CL) foi um avanço para o manejo da colelitíase e da colecistite, sendo rapidamente difundida, e hoje é considerada uma cirurgia endoscópica de nível introdutório. No entanto, apesar do alto nível de segurança da CL, lesões do ducto biliar (BDI) estão fortemente associadas a esse tipo de cirurgia, tendo uma incidência de duas a cinco vezes maior do que durante a cirurgia abdominal^{4,5}.

Durante as etapas do procedimento operatório da CL a identificação dos ductos cístico e biliar é crítica, e a identificação incorreta dessas estruturas leva ao BDI. Na colecistectomia laparoscópica, o cirurgião deve confiar na informação visual e na sua experiência cirúrgica para reconhecer os marcos anatômicos, pois, diferentemente da cirurgia abdominal, na CL falta a percepção tátil, o que explica os elevados números de BDI em CL em relação à cirurgia abdominal⁴.

A interpretação errônea da anatomia biliar está frequentemente associada à inflamação e às variações anatômicas, que colocam em prova as habilidades visuais do mais experiente cirurgião. Para contornar o fato de que grande parte dos eventos adversos durante as cirurgias ocorre em consequência de falhas na percepção visual humana, surgem as ferramentas de inteligência artificial (IA) como tecnologias promissoras para auxiliar o cirurgião em campo².

O uso da IA baseada em aprendizagem profunda, utilizando visão computacional, se provou, em mais de um estudo, como uma ferramenta otimizadora do reconhecimento anatômico em campo cirúrgico. A segmentação semântica auxiliou na identificação de zonas seguras e perigosas de dissecação durante a colecistectomia, apresentando alto nível de desempenho, utilizando sobreposição de imagens dentro do campo cirúrgico, com precisão da identificação por pixel superior a 90% para todas as estruturas².

Além da detecção de estruturas, os estudos mostraram que, com o auxílio da inteligência artificial, também é possível otimizar a detecção de fases cirúrgicas, a qual é extremamente importante durante a colecistectomia, e a identificação de algumas fases são mais críticas do que outras; a fase de dissecação do triângulo de Calot, por exemplo, é essencial para a segurança da continuidade da cirurgia. Por isso, foi testado o uso da IA para a identificação de fases cirúrgicas, e o sistema baseado na inteligência artificial atingiu uma precisão de 92% na identificação do triângulo de Calot^{1,3}.

Um estudo randomizado testou a utilização da ferramenta iSurgeon, uma tecnologia de telestração, para o treinamento de estudantes de medicina na CL. A ferramenta permite que o tutor oriente visualmente o aluno, capturando sua mão e projetando-a na tela durante o procedimento, além da identificação de estruturas anatômicas. O iSurgeon permite o acesso remoto, possibilitando que o tutor oriente o estudante do lado de fora da sala. O grupo de estudantes orientados com a ferramenta de IA apresentou melhores resultados em aprendizagem do que o grupo controle, mostrando mais uma aplicação da IA que pode ser utilizada não apenas em CL, mas também para o desenvolvimento habilidades cirúrgicas no geral⁷.

A medicina, assim como a tecnologia, está em constante evolução, e a associação dessas duas grandes áreas pode trazer muitos benefícios para a saúde humana. As aplicações da IA em campo cirúrgico são diversas; a CL é uma das cirurgias mais realizadas

na rotina de centros cirúrgicos, por isso, tende a estar em constante atualização, buscando sempre otimizar os resultados e a segurança do procedimento. A tecnologia de IA se mostrou promissora para o desenvolvimento das habilidades de novos cirurgiões, assim como para otimizar o desempenho de cirurgiões experientes em cirurgias mais complicadas, com inflamação e anatomia aberrante, que dificultam a identificação de estruturas. Consequentemente, o uso da IA é um caminho possível para a redução de BDI em CL.

CONCLUSÃO

Portanto, as evidências sugerem que a evolução da tecnologia e da medicina permitiu a associação entre a inteligência artificial e colecistectomia laparoscópica. Essa integração é capaz de aumentar o desempenho e de ser usada como suporte nas decisões dos médicos, além de reduzir o risco cirúrgico. Entretanto, permanecem lacunas relacionadas à menor precisão de alguns sistemas em etapas cirúrgicas críticas, à heterogeneidade das aplicações avaliadas e à necessidade de maior evidência sobre sua contribuição efetiva para a redução de complicações. Estudos futuros devem priorizar a validação desses sistemas em diferentes níveis de complexidade cirúrgica, a avaliação de seu desempenho em situações críticas e a investigação de seus impactos clínicos na segurança da colecistectomia laparoscópica. Assim, embora a IA represente uma perspectiva promissora para a cirurgia, sua incorporação à prática clínica requer evidências mais consistentes quanto à sua eficácia e segurança.

ACESSO ABERTO



Este artigo está licenciado sob Creative Commons Attribution 4.0 International License, que permite o uso, compartilhamento, adaptação, distribuição e

reprodução em qualquer meio ou formato, desde que você dê crédito apropriado ao(s) autor(es) original(is) e à fonte, forneça um *link* para o Creative Commons e indique se foram feitas alterações. Para mais informações, visite o site creativecommons.org/licenses/by/4.0/

REFERÊNCIAS

1. Golany T, Aides A, Freedman D, Rabani N, Liu Y, Rivlin E, et al. Artificial intelligence for phase recognition in complex laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* [Internet]. 2022;36(12):9215-9233. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35941306/>
2. Madani A, Namazi B, Altieri MS, Hashimoto DA, Rivera AM, Pucher PH, et al. Artificial intelligence for intraoperative guidance: using semantic segmentation to identify surgical anatomy during laparoscopic cholecystectomy. *Ann Surg* [Internet]. 2020;276(2):363-369. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33196488/>
3. Shinozuka K, Turuda S, Fujinaga A, Nakanuma H, Kawamura M, Matsunobu Y, et al. Artificial intelligence software available for medical devices: surgical phase recognition in laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* [Internet]. 2022;36:7444-52. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00464-022-09160-7>
4. Tokuyasu T, Iwashita Y, Matsunobu Y, Kamiyama T, Ishikake M, Sakaguchi S, et al. Development of an artificial intelligence system using deep learning to indicate anatomical landmarks during laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* [Internet]. 2021;35(4):1651-8. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32306111/>
5. Lopez-Lopez V, Maupoey J, López-Andujar R, Ramos E, Mils K, Martinez PA, et al. Machine learning-based analysis in the management of iatrogenic bile duct injury during cholecystectomy: a Nationwide Multicenter Study. *J Gastrointest Surg* [Internet]. 2022;26(8):1713-23. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35790677/>
6. Berlet M, Vogel T, Ostler D, Czempel T, Kähler M, Brunner S, et al. Surgical reporting for laparoscopic cholecystectomy based on phase annotation by a convolutional neural network (CNN) and the phenomenon of phase flickering: a proof of concept. *Int J Comput Assist Radiol Surg* [Internet]. 2022;17(11):1991-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35643827/>
7. Cizmic A, Müller F, Wise PA, Häberle F, Gabel F, Kowalewski KF, et al. Telestration with augmented reality improves the performance of the first ten ex vivo porcine laparoscopic cholecystectomies: a randomized controlled study. *Surg Endosc* [Internet]. 2023;37(10):7839-48. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37612445/>
8. Wagner M, Müller-Stich BP, Kisilenko A, Tran D, Heger P, Mündermann L, et al. Comparative validation of machine learning algorithms for surgical workflow and skill analysis with the HeiChole benchmark. *Med Image Anal* [Internet]. 2023;86:102770. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361841523000312>
9. Namazi B, Sankaranarayanan G, Devarajan V. A contextual detector of surgical tools in laparoscopic videos using deep learning. *Surg Endosc* [Internet]. 2022;36(1):679-688. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8349373/>
10. Badgery H, Zhou Y, Bailey J, Brothchie P, Chong L, Croagh D, et al. Using neural networks to autonomously assess adequacy in intraoperative cholangiograms. *Surg Endosc* [Internet]. 2024;38(5):2734-45. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11078812/>

DATA DE PUBLICAÇÃO: 01 de outubro de 2026.