УДК:61.617.089.-004.89

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ЖЕЛЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ (обзор литературы)

Таджибаев Ш.А., Абдурашидов Ф.Ш., Саминжонов Х.У.
Андижанский Государственный Медицинский Институт, Республика Узбекистан.

MODERN APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MINIMALLY INVASIVE SURGERY OF GALLSTONE DISEASE (literature review)

Tadjibaev Sh.A., Abdurashidov F.Sh., Saminjonov Kh.U.
Andijan State Medical Institute, Republic of Uzbekistan.

SUN'IY INTELLEKTNING O'T-TOSH KASALLIGI BO'YICHA MINIMAL INVAZIV JARROHLIKDAGI ZAMONAVIY QO'LLANISH YO'NALISHLARI (adabiyot sharhi)

Tadjibaev Sh.A., Abdurashidov F.Sh., Saminjonov X.U.
Andijon Davlat Tibbiyot Instituti, O'zbekiston Respublikasi.

Аннотация. *В обзоре рассмотрены современные подходы к применению искусственного интеллекта (ИИ) в малоинвазивной хирургии желчнокаменной болезни. Описаны возможности ИИ в диагностике, прогнозировании осложнений и выборе хирургической тактики при лапароскопической холецистэктомии. Подчёркивается роль алгоритмов машинного обучения и компьютерного зрения в распознавании анатомических структур и снижении риска конверсий. Отмечены перспективы интеграции ИИ в клиническую практику для повышения безопасности и эффективности операций.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, лапароскопическая холецистэктомия, минимально инвазивная хирургия, холелитиаз, робот-ассистированные технологии, компьютерное зрение, прогнозирование осложнений, конверсия.*

Abstract. *This review article discusses the modern use of artificial intelligence (AI) in minimally invasive surgery for gallstone disease. It highlights AI's potential in diagnostics, complication prediction, and surgical decision-making during laparoscopic cholecystectomy. Machine learning and computer vision algorithms play a key role in anatomical structure recognition and reducing conversion risks. The article emphasizes the prospects of AI integration into clinical practice to enhance surgical safety and efficiency.*

Keywords: *artificial intelligence, laparoscopic cholecystectomy, minimally invasive surgery, cholelithiasis, robot-assisted technologies, computer vision, complication prediction, conversion.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada xo'l tosh kasalligini davolashda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarining minimal invaziv jarrohlikdagi zamonaviy qo'llanilishi tahlil qilingan. SI yordamida diagnostika, asoratlarni oldindan bashorat qilish va jarrohlik taktikasi tanlash samaradorligi yoritilgan. Maqolada mashinali o'rganish va kompyuter ko'rish algoritmlarining anatomik tuzilmalarni aniqlash hamda konversiya xavfini kamaytirishdagi o'rni ta'kidlangan. SI tizimlarini amaliy jarrohlikka joriy etish istiqbollari ham ko'rsatib o'tilgan.*

Kalit so'zlar: *sun'iy intellekt, laparoskopik xoletsistektomiya, minimal invaziv jarrohlik, xo'l tosh kasalligi, robotlashtirilgan texnologiyalar, kompyuter ko'rish, asoratlarni bashorat qilish, konversiya.*

Введение. Холелитиаз (желчнокаменная болезнь) остается одной из наиболее распространённых патологий гепатобилиарной системы, с глобальной распространённостью до 10–20% взрослого населения, особенно в развитых странах. Основным методом лечения симптоматического холелитиаза является хирургическое удаление желчного пузыря — холецистэктомия, преимущественно выполняемая минимально инвазивными методами, такими как лапароскопия. Минимально инвазивные технологии значительно снизили частоту осложнений, сократили сроки госпитализации и улучшили качество жизни пациентов. Однако даже при лапароскопической холецистэктомии сохраняются риски, связанные с анатомическими вариациями, воспалительными изменениями и техническими сложностями, что может приводить к повреждению желчных протоков и другим осложнениям[7].

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) активно внедряется в хирургическую практику, предлагая новые возможности для оптимизации диагностики, планирования и проведения операций. Современные алгоритмы машинного обучения, нейронные сети и системы компьютерного зрения способны анализировать медицинские изображения, распознавать анатомические структуры и прогнозировать исходы хирургического вмешательства, что особенно актуально для лечения холелитиаза[2;5;16].

Эволюция минимально инвазивной хирургии при холелитиазе. Лапароскопическая холецистэктомия стала «золотым стандартом» хирургического лечения холелитиаза, благодаря меньшей травматичности, быстрому восстановлению и низкой частоте осложнений по сравнению с открытыми вмешательствами. Тем не менее, традиционная лапароскопия требует высокой квалификации хирурга, особенно при атипичном расположении желчного пузыря, выраженном воспалении или наличии спаек. Основные сложности связаны с идентификацией структур в области треугольника Кало, что критично для предотвращения повреждения желчных протоков[7;8].

Переход к робот-ассистированным и гибридным технологиям (например, системы Da Vinci, Senhance, CMR Versius) позволил повысить точность манипуляций, улучшить визуализацию и эргономику, а также интегрировать дополнительные инструменты

для навигации и анализа данных. Однако даже роботизированные системы не полностью исключают человеческий фактор и требуют дальнейшей оптимизации процессов идентификации анатомических структур и принятия решений[4].

Искусственный интеллект в современной хирургии. ИИ охватывает широкий спектр технологий: машинное обучение, глубокие нейронные сети, компьютерное зрение, обработку естественного языка. В хирургии ИИ применяется для анализа изображений, автоматического распознавания анатомических структур, навигации, прогнозирования осложнений и исходов, а также поддержки принятия решений. Компьютерное зрение позволяет в реальном времени выделять и маркировать критические зоны, такие как треугольник Кало, что снижает риск повреждения желчных протоков[7;8;13;22].

ИИ также используется для автоматической интерпретации ультразвуковых, КТ и МРТ-изображений, что ускоряет диагностику и повышает её точность. Алгоритмы машинного обучения способны выявлять паттерны, недоступные для человеческого глаза, и предсказывать вероятность осложнений на основе больших массивов данных[1;2;6;23].

Применение искусственного интеллекта при холелитиазе. Современные ИИ-алгоритмы разрабатываются для прогнозирования осложнений холецистэктомии, оценки риска конверсии в открытую операцию, а также автоматической классификации сложности вмешательства. Системы глубокого обучения анализируют медицинские изображения (УЗИ, КТ, МРТ) для автоматического выявления камней, воспалительных изменений, аномалий желчного пузыря и протоков. Это позволяет более точно планировать операцию и выбирать оптимальную тактику[1;2;7;16;23].

ИИ также применяется для стратификации пациентов по риску осложнений, используя клинические, лабораторные и визуализационные данные. Например, алгоритмы могут предсказывать вероятность повреждения желчных протоков, кровотечения, инфекционных осложнений и длительности госпитализации.

В ряде исследований показано, что точность таких прогнозов сопоставима или превосходит традиционные методы оценки риска [4;6;7;23].

ИИ в лапароскопической и робот-ассистированной холецистэктомии. Компьютерное зрение и системы автоматического распознавания анатомических структур внедряются непосредственно в операционную практику. В частности, ИИ способен в реальном времени выделять и маркировать структуры треугольника Кало, пузырный проток, артерию, что существенно снижает риск ятрогенных повреждений. В системах Da Vinci, Senhance и CMR Versius интегрируются модули ИИ для поддержки навигации, автоматического анализа видеопотока и предоставления рекомендаций хирургу[4;7].

ИИ также используется для автоматического анализа сложности лапароскопической холецистэктомии, оценки необходимости конверсии, а также поддержки хирурга при атипичных анатомических вариантах или выраженном воспалении. В перспективе возможна интеграция ИИ-ассистентов, способных не только анализировать изображения, но и предлагать оптимальные траектории диссекции, предупреждать о рисках и даже управлять инструментами в полуавтоматическом режиме [7;8;13].

Что касается конкретно конверсии. Представляет большой интерес определение конверсии сформулированное ИИ. Цитата: «Конверсия при лапароскопической холецистэктомии — это переход от лапароскопического доступа к открытому из-за невозможности безопасно завершить операцию минимально инвазивным способом». Обращает на себя внимание то, что в определение конверсии в данном случае акцентируется переход от лапароскопического доступа к открытому из-за невозможности безопасно завершить операцию минимально инвазивным способом, то есть возникает проблема выбора оперативного доступа конверсии с соблюдением принципов малоинвазивности. В последние годы частота конверсий стабильно снижается и составляет от 0,5% до 3% в крупных сериях, что подтверждается данными ретроспективных и мета-анализов за 2020–2025 годы [9;18;20;27].

Основные независимые факторы риска конверсии включают: мужской пол, возраст старше 60 лет, наличие острого холецистита, предшествующие операции на верхних отделах живота, выраженное утолщение стенки желчного пузыря по данным УЗИ, высокий уровень лейкоцитов, ожирение, сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания и наличие плотных спаек. Экстренные вмешательства по поводу острого холецистита и выраженные воспалительные изменения существенно увеличивают риск конверсии[9;18;25;27].

Наиболее частые интраоперационные причины конверсии — плотные спайки, выраженное воспаление, затруднённая анатомия, невозможность визуализации структур, а также наличие крупных или заклинивших конкрементов. Применение современных техник, таких как «fundus first» и субтотальная холецистэктомия, позволяет снизить частоту конверсий и связанных с ними осложнений[17;20].

В последние годы внедрение роботизированных технологий в отдельных центрах позволило практически полностью устранить необходимость конверсии у пациентов с высоким риском. Однако открытая конверсия остаётся важной опцией для обеспечения безопасности пациента при невозможности безопасного завершения лапароскопической операции [14;17;20].

Пациенты с факторами риска должны быть информированы о возможности конверсии, а хирургическая тактика требует индивидуального подхода с учётом прогностических моделей и оценки сложности вмешательства [18;25;27].

Планируется подробнее изучить современные прогностические модели и шкалы оценки риска конверсии при лапароскопической холецистэктомии, чтобы оптимизировать предоперационное планирование и индивидуализировать подход к пациентам.

Применение искусственного интеллекта для прогнозирования конверсии при лапароскопической холецистэктомии. В последние годы применение искусственного интеллекта (ИИ) для прогнозирования конверсии при лапароскопической холецистэктомии активно развивается, особенно в контексте оценки сложности операции и риска осложнений.

ИИ-системы, основанные на глубоких нейронных сетях и компьютерном зрении, способны анализировать интраоперационные изображения и видео, определяя степень воспаления желчного пузыря, наличие рубцовых изменений, а также достижение критического обзора безопасности (Critical View of Safety, CVS). Например, фреймворк ENDOLAP-IA продемонстрировал высокую точность (87,3%) и AUC-ROC 0,923 для классификации тяжести воспаления, что напрямую связано с риском конверсии и осложнений. Модели, обученные на больших наборах видео, могут автоматически определять

фазы операции и сложные участки, что позволяет прогнозировать вероятность перехода к открытой хирургии [3;12;19;26].

ИИ также используется для распознавания анатомических структур и опасных зон диссекции, что снижает риск повреждения желчных протоков и, соответственно, необходимости конверсии. Системы, такие как GoNoGoNet, в реальном времени выделяют безопасные и опасные зоны, помогая хирургу принимать решения о продолжении лапароскопии или переходе к открытой методике[7;15].

Систематические обзоры подтверждают, что ИИ способен повысить безопасность и точность лапароскопической холецистэктомии, однако большинство исследований пока ограничены пилотными и ретроспективными дизайнами, и требуется дальнейшая внешняя валидация. Внедрение ИИ в клиническую практику может улучшить обучение хирургов, стандартизировать оценку сложности и повысить качество хирургической помощи[7;10].

Таким образом, современные ИИ-инструменты позволяют объективно оценивать факторы, влияющие на конверсию при лапароскопической холецистэктомии, и обладают потенциалом для интеграции в рутинную хирургическую практику [3;7;10;11;12;15;19;21;26]. Кроме того, возникает необходимость изучить результаты внешней валидации существующих ИИ-моделей на независимых клинических выборках, чтобы оценить их реальную применимость и воспроизводимость в различных хирургических центрах.

Преимущества и ограничения внедрения искусственного интеллекта в хирургии. Внедрение ИИ приводит к повышению точности диагностики, снижению времени операции, уменьшению частоты осложнений и улучшению исходов лечения. ИИ позволяет стандартизировать процессы, минимизировать влияние человеческого фактора и повысить безопасность вмешательств. Однако существуют значительные ограничения: необходимость стандартизации данных, обеспечение этической и юридической прозрачности, проблемы интерпретируемости решений ИИ и доверия со стороны хирургов[4;5;6;7;8].

Важным аспектом является обеспечение качества обучающих данных, предотвращение алгоритмических предвзятостей и защита персональных данных пациентов. Кроме того, требуется разработка нормативных и этических регламентов, определяющих ответственность за решения, принятые с участием ИИ[4;5].

Перспективы и направления будущих исследований. В ближайшие годы ожидается развитие интеллектуальных хирургических ассистентов, способных интегрировать данные из различных источников (клинические, лабораторные, визуализационные) и предоставлять персонализированные рекомендации по тактике лечения. ИИ будет использоваться для создания индивидуальных стратегий хирургического вмешательства, прогнозирования исходов и автоматизации рутинных процессов[4;8;13].

Перспективным направлением является разработка систем, способных в реальном времени анализировать физиологические параметры пациента, адаптировать ход операции и предупреждать о возможных осложнениях. Важным является также интеграция ИИ с технологиями дополненной и виртуальной реальности для обучения хирургов и симуляции сложных случаев[4;24].

Заключение. Современные приложения искусственного интеллекта в минимально инвазивной хирургии при лечении холелитиаза открывают новые горизонты для повышения безопасности, эффективности и персонализации хирургических вмешательств. ИИ уже демонстрирует высокую точность в распознавании анатомических структур, прогнозировании осложнений и поддержке принятия решений, особенно в сложных и атипичных случаях лапароскопической и робот-ассистированной холецистэктомии. Однако для широкого внедрения ИИ в клиническую практику необходимы дальнейшие исследования, стандартизация данных, развитие этических и нормативных регламентов, а также повышение доверия и компетентности хирургов в работе с ИИ [4;5;6;7;13].

Список литературы:

1. Ahn J.C., Connell A., Simonetto D.A., Hughes C., Shah V.H. Application of Artificial Intelligence for the Diagnosis and Treatment of Liver Diseases. Hepatology (Baltimore, Md.). 2021;73(6):2546-2563. doi:10.1002/hep.31603.
2. Cao J.S., Lu Z.Y., Chen M.Y., et al. Artificial Intelligence in Gastroenterology and Hepatology: Status and Challenges. World Journal of Gastroenterology. 2021;27(16):1664-1690. doi:10.3748/wjg.v27.i16.1664.
3. Cheng K., You J., Wu S., et al. Artificial Intelligence-Based Automated Laparoscopic Cholecystectomy Surgical Phase Recognition and Analysis. Surgical Endoscopy. 2022;36(5):3160-3168. doi:10.1007/s00464-021-08619-3.
4. Chevalier O., Dubey G., Benkabbou A., Majbar M.A., Souadka A. Comprehensive Overview of Artificial Intelligence in Surgery: A Systematic Review and Perspectives. Pflugers Archiv : European Journal of Physiology. 2025;477(4):617-626. doi:10.1007/s00424-025-03076-6.
5. Christou C.D., Tsoulfas G. Challenges and Opportunities in the Application of Artificial Intelligence in Gastroenterology and Hepatology. World Journal of Gastroenterology. 2021;27(37):6191-6223. doi:10.3748/wjg.v27.i37.6191.
6. Christou C.D., Tsoulfas G. Challenges Involved in the Application of Artificial Intelligence in Gastroenterology: The Race Is On! World Journal of Gastroenterology. 2023;29(48):6168-6178. doi:10.3748/wjg.v29.i48.6168.
7. Corallino D., Balla A., Coletta D., et al. Systematic Review on the Use of Artificial Intelligence to Identify Anatomical Structures During Laparoscopic Cholecystectomy: A Tool Towards the Future. Langenbeck's Archives of Surgery. 2025;410(1):101. doi:10.1007/s00423-025-03651-6.
8. Dagli M.M., Rajesh A., Asaad M., Butler C.E. The Use of Artificial Intelligence and Machine Learning in Surgery: A Comprehensive Literature Review. The American Surgeon. 2023;89(5):1980-1988. doi:10.1177/00031348211065101.
9. Dinçer B., Ömeroğlu S., Tufan A.E., Uzun M.A. Evaluation of Risk Factors Leading to Conversion From Laparoscopic Cholecystectomy to Open Surgery: A Retrospective Controlled Study. Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A. 2025;35(3):204-209. doi:10.1089/lap.2024.0366.
10. Efstathiou A., Charitaki E., Triantopoulou C., Delis S. Artificial Intelligence and Digital Tools Across the Hepato-Pancreato-Biliary Surgical Pathway: A Systematic Review. Journal of Clinical Medicine. 2025;14(18):6501. doi:10.3390/jcm14186501.
11. Fried G.M., Ortenzi M., Dayan D., et al. Surgical Intelligence Can Lead to Higher Adoption of Best Practices in Minimally Invasive Surgery.

Annals of Surgery. 2024;280(3):525-534. doi:10.1097/SLA.0000000000006377.

12. Golany T., Aides A., Freedman D., et al. Artificial Intelligence for Phase Recognition in Complex Laparoscopic Cholecystectomy. Surgical Endoscopy. 2022;36(12):9215-9223. doi:10.1007/s00464-022-09405-5.

13. Hashimoto D.A., Rosman G., Rus D., Meireles O.R. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. Annals of Surgery. 2018;268(1):70-76. doi:10.1097/SLA.0000000000002693.

14. Huy T.C., Fitzsimmons K., Park J., et al. The Robotic Era: 11-Year Retrospective Study of Cholecystectomies at a Veterans Affairs Hospital. Surgical Endoscopy. 2025;:10.1007/s00464-025-12185-3. doi:10.1007/s00464-025-12185-3.

15. Khalid M.U., Laplante S., Masino C., et al. Use of Artificial Intelligence for Decision-Support to Avoid High-Risk Behaviors During Laparoscopic Cholecystectomy. Surgical Endoscopy. 2023;37(12):9467-9475. doi:10.1007/s00464-023-10403-4.

16. Kröner P.T., Engels M.M., Glicksberg B.S., et al. Artificial Intelligence in Gastroenterology: A State-of-the-Art Review. World Journal of Gastroenterology. 2021;27(40):6794-6824. doi:10.3748/wjg.v27.i40.6794.

17. Le V.H., Smith D.E., Johnson B.L. Conversion of Laparoscopic to Open Cholecystectomy in the Current Era of Laparoscopic Surgery. The American Surgeon. 2012;78(12):1392-5.

18. Magnano San Lio R., Barchitta M., Maugeri A., et al. Preoperative Risk Factors for Conversion From Laparoscopic to Open Cholecystectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;20(1):408. doi:10.3390/ijerph20010408.

19. Mejía N.A.R., De la Cruz Rey S., Cervantes-Sánchez C.R., Figueroa E.C., Alonso G.R. Development and Validation of the ENDOLAP Artificial Intelligence Framework for Inflammation Severity Classification in Laparoscopic Cholecystectomy: A Cross-Sectional Study. Surgical Endoscopy. 2025;:10.1007/s00464-025-12067-8. doi:10.1007/s00464-025-12067-8.

20. Nassar A.H.M, Zanati H.E., Ng H.J., Khan K.S., Wood C. Open Conversion in Laparoscopic Cholecystectomy and Bile Duct Exploration: Subspecialisation Safely Reduces the Conversion Rates. Surgical Endoscopy. 2022;36(1):550-558. doi:10.1007/s00464-021-08316-1.

21. Orimoto H., Hirashita T., Ikeda S., et al. Development of an Artificial Intelligence System to Indicate Intraoperative Findings of Scarring in Laparoscopic Cholecystectomy for Cholecystitis. Surgical Endoscopy. 2025;39(2):1379-1387. doi:10.1007/s00464-024-11514-2.

22. Rajesh A., Chartier C., Asaad M., Butler C.E. A Synopsis of Artificial Intelligence and Its Applications in Surgery. The American Surgeon. 2023;89(1):20-24. doi:10.1177/00031348221109450.

23. Solanki S.L., Pandrowala S., Nayak A., et al. Artificial Intelligence in Perioperative Management of Major Gastrointestinal Surgeries. World Journal of Gastroenterology. 2021;27(21):2758-2770. doi:10.3748/wjg.v27.i21.2758.

24. Veerankutty F.H., Jayan G., Yadav M.K., et al. Artificial Intelligence in Hepatology, Liver Surgery and Transplantation: Emerging Applications and Frontiers of Research. World Journal of Hepatology. 2021;13(12):1977-1990. doi:10.4254/wjh.v13.i12.1977.

25. Warchałowski Ł., Łuszczki E., Bartosiewicz A., et al. The Analysis of Risk Factors in the Conversion From Laparoscopic to Open Cholecystectomy. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(20):E7571. doi:10.3390/ijerph17207571.

26. Ward T.M., Hashimoto D.A., Ban Y., Rosman G., Meireles O.R. Artificial Intelligence Prediction of Cholecystectomy Operative Course From Automated Identification of Gallbladder Inflammation. Surgical Endoscopy. 2022;36(9):6832-6840. doi:10.1007/s00464-022-09009-z.

27. Zeineddin A., Harris J., Olivencia-Delgado M., et al. A 20-Year Analysis of Risk Factors for Complicated Postoperative Course Following Laparoscopic Cholecystectomy. The American Surgeon. 2025;91(8):1258-1262. doi:10.1177/00031348251351000.