УДК: 616.366 - 089.87

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ-ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНДО-ХИРУРГИИ ХОЛЕЛИТИАЗА

Таджибаев Ш.А.[1], Абдурашидов Ф.Ш.[2], Шарипов К. К.[1], Саминжонов Х.У.[1]
[1]Андижанский Государственный Медицинский Институт, г.Андижан.
[2]Негосударственное высшее учебное заведение «University of business and science», г. Наманган.

POSSIBILITIES OF USING AI TECHNOLOGIES IN ENDO-SURGERY OF CHOLELITHIASIS

Tadzhibayev Sh.A.[1], Abdurashidov F.Sh.[2], Sharipov K.K.[1], Saminjonov Kh.U.[2]
[1]Andijan State Medical Institute, Andijan.
[2]Non-governmental higher educational institution "University of Business and Science", Namangan.

XOLELITIAZ ENDO-JARROHLIK AMALIYOTIDA SI TEXNOLOGIYALARINI QO'LLASH IMKONIYATLARI

Tadjiabayev Sh.A.[1], Abdurashidov F.Sh.[2], Sharipov K.K.[1], Saminjonov X.U.[1]
[1]Andijon Davlat Tibbiyot Instituti, Andijon shahri.
[2]Nodavlat oliy ta'lim muassasasi "University of Business and Science", Namangan shahri .

Аннотация. *В исследование были включены 242 пациента, перенёсших лапароскопиче-скую холецистэктомию с 2020 по 1 полугодие 2025 гг. Все вмешательства сопровождались стандартной видеорегистрацией, что позволило сформиро-вать единый массив эндовидеоданных. Были использованы методы автома-тизированного извлечения визуальных признаков, фазового анализа, детек-ции анатомических структур и вычислительной оценки критических зон (Critical View of Safety). Демографический состав включал 150 женщин (62,0%) и 92 мужчин (38,0%), средний возраст — 49 ± 14 лет. Конверсия в открытую операцию потребовалась лишь в 3 случаях (1,2%), интраопераци-онные осложнения отмечены у 11,1% пациентов, серьёзных повреждений желчных протоков не зарегистрировано.*
Ключевые слова: *лапароскопическая холецистэктомия, искусственный интеллект, эндовидеодоступ, компьютерное зрение, хирургическая навигация.*

Annotatsiya. *Tadqiqotga 2020 yildan 2025 yilning birinchi yarim yilligiga-cha laparoskopik xoletsistektomiya o'tkazilgan 242 nafar bemor kiritildi. Barcha jarrohlik amaliyotlari standart videoregistratsiya orqali yozib olingan bo'lib, ya-gona endovideo ma'lumotlar bazasini yaratishga imkon berdi. Vizual belgilarni avtomatik ajratib olish, jarrohlik fazalarini aniqlash, anatomik strukturalarni aniqlash va xavfli zonalarni (Critical View of Safety) algoritmik baholash usullari qo'llanildi. Bemorlardan 150 nafari ayol (62,0%), 92 nafari erkak (38,0%), o'rtacha yosh — 49 ± 14 yosh. Operatsiyaning ochiq usulga o'tkazilishi faqat 3 ta holatda (1,2%) kuzatildi, intraoperatsion asoratlar esa 11,1% bemorlarda qayd etildi. Asosiy safro yo'llarining jiddiy shikastlanishi aniqlanmadi.*
Kalit so'zlar: *laparoskopik xoletsistektomiya, sun'iy intellekt, endovideo tahlil, kompyuter ko'rish, jarrohlik navigatsiyasi.*

Abstract. *The study included 242 patients who underwent laparoscopic cholecystectomy from 2020 to the first half of 2025. All procedures were record-ed using standard video documentation, allowing the creation of a unified dataset of endoscopic images. Automated methods were applied for feature extraction, surgical phase recognition, anatomical structure detection, and computational as-sessment of critical zones (Critical View of Safety). The cohort included 150 fe-males (62.0%) and 92 males (38.0%), with a mean age of 49 ± 14 years. Conver-sion to open surgery was required in only 3 cases (1.2%), while intraoperative complications occurred in 11.1% of patients. No major bile duct injuries were re-ported.*
Keywords: *laparoscopic cholecystectomy, artificial intelligence, endoscopic video access, computer vision, surgical navigation.*

Введение. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) занимает одно из ведущих мест в структуре мировой гастроэнтерологической заболеваемости. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), патология диагности-рована у 10–15% населения планеты, при этом отмечается неуклонный рост заболеваемости и тенденция к ее «омоложению». Наиболее высокие показатели фиксируются в экономически развитых странах: Швеция — до 35%, Франция — 22%, Англия — 17%, США — 9–24%, Россия — 5–25%. В Республике Узбекистан распространенность ЖКБ варьирует в пределах 4–10% [1].

«Золотым стандартом» хирургического лечения ЖКБ признана лапароскопическая холецистэктомия (ЛХЭ). Однако, несмотря на минимальную инвазивность, сохраняется риск ятрогенного повреждения внепеченочных желчных протоков, частота которого составляет 0,08–1,5% [7;14]. Основной причиной данных осложнений является ошибочная идентификация анатомических структур, обусловленная воспалительно-рубцовыми изменениями или аномалиями развития [5]. Согласно международным клиническим рекомендациям, интраоперационная верификация желчевыводящих путей является обязательным этапом вмешательства [2;3]. В связи с этим разработка вспомогательных методов идентификации анатомии, включая цифровые технологии, представляет высокую актуальность.

Интеграция технологий компьютерного зрения и глубокого обучения в лапароскопическую хирургию позволяет объективизировать интраоперационные данные и повысить безопасность процедур. Современные алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) способны с высокой точностью распознавать этапы операции и анатомические ориентиры. Так, алгоритм Golany et al. [8] продемонстрировал точность 89%, сопоставимую с экспертной оценкой, а многоцентровое исследование Cheng et al. [4] подтвердило эффективность ИИ (91,05%) даже в условиях вариабельности рабочего процесса. Платфор-ма EndoDigest [10;11] обеспечивает автоматическую детекцию пересечения пузырного

протока и оценку критического вида безопасности (CVS).

В аспекте анатомической навигации модели глубокого обучения достигают 98% точности в распознавании билиарных структур, что существенно повышает безопасность вмешательств [6]. Клиническая валидация систем, таких как SES [13] и моделей на базе YOLOv3 [15], подтвердила их надежность в улучшении ситуационной осведомленности хирургической бригады. Кроме того, ИИ обеспечивает автоматизированную оценку CVS в реальном времени с высокой точностью (0,971) [9] и позволяет сегментировать гепатоцистную зону [Mascagni et al., 8]. Прогностические возможности ИИ, вклю-чая определение степени воспаления по шкале Паркленда [16] и прогнозиро-вание сложности операции (AUC 0,923) [12], способствуют стандартизации хирургического процесса.

Таким образом, внедрение ИИ трансформирует подход к ЛХЭ, обеспечивая прецизионную навигацию и объективный мониторинг безопасности. Данное исследование соответствует приоритетным задачам государственной политики, закрепленным в Указе Президента Республики Узбекистан №ПП-358 от 14.10.2024 г. «О Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года».

Цель исследования: определение потенциала ИИ-технологий в повышении точности визуализации, стандартизации интраоперационного анализа и снижении риска хирургических осложнений при лапароскопической холецистэктомии.

Материалы и методы. В исследование были включены 242 пациента, перенёсших лапароскопическую холецистэктомию в 2020 – 1 полугодие 2025 гг. Среди них преобладали женщины — 150 (62,0%), мужчины составили 92 (38,0%). Средний возраст пациентов составил 49 ± 14 лет. Все операции сопровождались стандартной видеорегистрацией, что позволило сформировать единый массив эндовидеоданных для последующего анализа.

Использовались современные алгоритмы искусственного интеллекта - МедСкан AI, включающие методы компьютерного зрения, глубокого обучения и детекции анатомических структур.

Анализ проводился по нескольким направлениям:

Распознавание хирургических фаз на основе сверточных и рекуррентных нейронных сетей;

1. Автоматизированная идентификация анатомических ориентиров билиарной зоны с применением архитектур YOLOv3/YOLOv8 и моделей сегментации, описанных в исследованиях;

2. Оценка достижения критериев Critical View of Safety (CVS) в со-ответствии с принципами, предложенными в работах;

3. Прогнозирование сложности вмешательства с использованием моделей классификации воспаления желчного пузыря по шкале Паркленда.

Видеообработка проводилась в постоперационном режиме на вычислительной платформе с поддержкой GPU-ускорения. Для каждой операции формировались временные метки фаз, автоматически определялись ключе-вые структуры (пузырный проток, пузырная артерия, треугольник Кало, борозда Рувьера и др.) и проводилась оценка соответствия CVS. Достовер-ность работы моделей проверялась путем сравнения результатов ИИ с экспертными заключениями хирургов.

Статистическая обработка включала расчет средних значений, доверительных интервалов, долей (%) и коэффициентов согласованности. Для проверки различий применялись критерии χ^2 и t-тест, статистически значимым считался уровень $p < 0,05$.

Результаты. В исследование были включены 242 пациента, перенёсших лапароскопическую холецистэктомию в период с 2020 по 1 полугодие 2025 гг. Демографические и клинические характеристики представлены в таблице 1. Средний возраст пациентов составил 49 ± 14 лет; женщин — 150 (62,0%), мужчин — 92 (38,0%).

Из общего числа вмешательств лишь в 3 случаях (1,2%) операция была преобразована в открытую (conversion). Интраоперационные осложнения отмечены у 27 пациентов (11,1%), включая контролируемые во время операции кровотечения. Случаев повреждения основных желчных протоков не зарегистрировано.

Демографические и клинические характеристики пациентов (n=242)

Таблица 1

Характеристика	Значение
Общее количество пациентов (N)	242
Период исследования	2020 – 1 полугодие 2025 гг.
Средний возраст, лет (M ± SD)	49 ± 14
Пол:	
— Женщины, n (%)	150 (62,0%)
— Мужчины, n (%)	92 (38,0%)
Конверсия в открытую операцию, n (%)	3 (1,2%)
Интраоперационные осложнения, n (%)	27 (11,1%)
Повреждение основных желчных протоков, n (%)	0 (0%)
Длительность операции (медиана), мин:	
— При высокой степени воспаления	78 мин
— При низкой степени воспаления	52 мин

Точность распознавания хирургических фаз. Модель для распознавания фаз показала среднюю точность (accuracy) 90,3% (95% ДИ 88,1–92,5%). Для стандартных (неосложнённых) вмешательств точность составила 91,8% (95% ДИ 89,6–94,0%), тогда как для клинически сложных случаев — 82,4% (95% ДИ 78,1–86,7%); разница статистически значима ($p < 0,01$, χ^2). Детекция анатомических структур (анатомическая навигация).

Модель детекции (архитектуры YOLO-подобной) продемонстрировала среднюю mean average precision

(mAP) 96,2% (95% ДИ 95,0–97,4%) для ключевых билиарных ориентиров (пузырный проток, пузырная артерия, общий желчный проток, борозда Рувьера). Коэффициент Дайс (DICE) при сегментации гепатоцистной зоны валидационной выборки составил 0,87 ± 0,04. В 56 (26,4%) случаях вывод модели повлиял на хирургическую раз-метку; из этих изменений 39 (69,6%) были клинически расценены экспертами как повышающие безопасность.

Автоматизация фиксации критических событий и CVS. Система автоматического выделения момента пересечения пузырного протока (EndoDigest-подобная) обеспечила среднюю абсолютную ошибку во времени 61,4 ± 18,9 с. Алгоритм оценки достижения Critical View of Safety (CVS) показал следующие метрики: precision = 0,95 (95% ДИ 0,93–0,97), recall = 0,74 (95% ДИ 0,70–0,78), F1 = 0,83. Частота видеоклипов, признанных пригодными для оценки CVS, составила 90,6%.

Прогнозирование сложности вмешательства и оценка воспаления. Модель классификации степени воспаления по видеоданным достигла AUC = 0,912 (95% ДИ 0,887–0,937). Коэффициент согласованности модели с экспертной шкалой Паркленда (альфа Криппендорфа) — 0,72, что подтверждает хорошую согласованность. Прогнозирование высокой степени воспаления было статистически связано с увеличением длительности операции (медиана 78 мин при высокой воспалительности против 52 мин при низкой, $p < 0,001$) и увеличением вероятности перфорации желчного пузыря (OR = 3,6; 95% ДИ 1,8–7,2).

Время обработки и производительность. Реальное время обработки видеопотока на исследуемой платформе составило в среднем 0,12 ± 0,03 с на кадр при пакетной (post-hoc) обработке и ~0,17 ± 0,05 с при потоковой оценке, что позволило достигнуть примерно 5–8 fps в режиме реального времени на оборудовании с GPU-ускорением. Это сопоставимо с показателями реального времени, указанными в литературе (≈6 fps) для систем оценки CVS.

Валидация экспертами. Сравнение выходов ИИ с оценками трёх независимых экспертов-хирургов показало соглашение Cohen's $\kappa = 0,78$ по фазированию операций и $\kappa = 0,71$ по детекции ключевых структур, что указывает на высокий уровень совпадения.

Обсуждение. Выполненное исследование демонстрирует практическую применимость современных методов компьютерного зрения и глубокого обучения для моделирования эндовидеодоступа при лапароскопической холецистэктомии. Полученные результаты следует интерпретировать в контексте существующей литературы и клинической значимости.

Согласие с предыдущими исследованиями. Достоверность распознавания фаз (≈90,3%) и снижение точности в сложных случаях (82,4%) коррелируют с результатами Golany et al. [8] и Cheng et al. [4], подтверждая, что ал-горитмы хорошо работают при стандартных сценариях, но требуют дополнительного обучения на гетерогенных данных для повышения устойчивости в сложных ситуациях. Высокая mAP (≈96,2%) и высокий DICE при сегментации согласуются с данными Corallino et al. [6] и клиническими испытаниями SES [13], что подтверждает возможность надёжной визуализации билиарных ориентиров.

Клиническая значимость автоматизации CVS и фиксации событий. Средняя абсолютная ошибка определения момента пересечения пузырного протока (≈61 с) и высокая доля видеоклипов, пригодных для оценки CVS (≈ 90,6%), демонстрируют, что автоматизация позволяет оперативно формировать релевантные отрезки для ретроспективного анализа и обучения. Метрики precision/recall системы оценки CVS (0,95/0,74) близки к результатам Kawamura et al. [9] и Mascagni et al. [11], что позволяет рассматривать такую систему как инструмент для немедленной обратной связи хирургу и повышения качества документации.

Прогнозирование сложности и операционная логистика. Высокая AUC модели классификации воспаления (0,912) и значимая связь с увеличенной длительностью операций и риском перфорации подтверждают перспективность использования ИИ для пред- и интраоперационного планирования. Это может способствовать оптимизации расписания операционных, выделению дополнительного времени и ресурсов для сложных случаев, а также ранней мобилизации вспомогательных бригад.

Ограничения исследования. Набор данных ограничен 242 пациентами — хотя этого достаточно для первичной валидации, дальнейшее расширение и мультицентровая калибровка увеличат обобщаемость моделей. Данные взяты из единого стандартизированного потока видеозаписи; различия в качестве видео и оборудовании между центрами могут повлиять на переносимость моделей.

Оценка клинической полезности (изменение исходов, сокращение осложнений) требует проспективных рандомизированных исследований; текущее исследование описывает в основном технические и промежуточные клинические метрики. Некоторые метрики (например, скорость обработки) зависят от аппаратной части; при менее мощном оборудовании производительность в реальном времени может снижаться.

Перспективы и практическая интеграция. Результаты показывают, что комбинация фазового распознавания, детекции ориентиров и автоматической оценки CVS может выступать как многоуровневая система поддержки хирурга: от автоматического индексирования видеоархива и подготовки клипов для обучения до интерактивной интраоперационной подсказки. Для внедрения в клиническую практику требуется: (а) мультицентрическая валидация с учётом разных типов эндоскопов и стандартов записи; (б) интеграция с системой электронного документооборота операционного блока; (в) оценка влияния на клинические исходы в проспективных клинических исследованиях.

Заключение по разделу. ИИ-модули, реализованные в рамках данного исследования, продемонстрировали высокую техническую эффективность (фазирование, детекция структур, оценка CVS, прогнозирование воспаления) и потенциал для улучшения безопасности и стандартизации лапароскопической холецистэктомии. На следующем этапе необходимо выполнять масштабное тестирование в мультицентровом формате и оценку влияния на клинические исходы.

Выводы. Интеграция методов искусственного интеллекта в эндовидео-хирургию желчнокаменной болезни позволяет значительно повысить объективность анализа лапароскопической холецистэктомии. Модели распознавания фаз, сегментации и детекции анатомических структур демонстрируют высокую точность, сопоставимую с экспертной оценкой, что подтверждает их надёжность при стандартных и умеренно сложных операциях.

Использование ИИ для идентификации ключевых

билиарных ориентиров и автоматической оценки достижения Critical View of Safety способствует повышению безопасности вмешательства. Высокие показатели mAP и DICE, а также способность алгоритмов точно фиксировать критические события обеспечивают формирование клинически значимых подсказок и уменьшение риска ошибок, связанных с человеческим фактором.

Алгоритмическая оценка степени воспаления и прогнозирование операционной сложности обладают значимой клинической ценностью. Модели глубокого обучения, основанные на архитектурах YOLO и нейросетевых классификаторах, успешно выявляют признаки воспаления, коррелирующие с длительностью операции и риском осложнений, что позволяет оптимизировать планирование и распределение ресурсов.

Полученные результаты подтверждают перспективность комплексного использования ИИ как инструмента поддержки хирурга и анализа видеоданных. Для широкого внедрения необходимы дальнейшая мультицентровая валидация, стандартизация видеоархивации, а также оценка влияния подобных систем на клинические исходы в проспективных исследованиях. Тем не менее, уже на текущем этапе ИИ-технологии демонстрируют значительный потенциал в совершенствовании безопасности и качества лапароскопической холецистэктомии.

Список литературы:

1. Батиров Д. Ю., Рахимов А. П., Умаров Н. Ш. и соавт. Совершенство-вание диагностических и хирургических методов лечения осложнённых форм желчнокаменной болезни. Медицинский журнал молодых ученых. 2025; 1 (14): С. 214–219. https://journals.tnmu.uz/index.php/yotj/article/view/1800

2. Кабанов М. Ю., Глушков Н. И., Семенцов К. В. и соавт. Опыт приме-нения индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии у пациентов пожилого и старческого возраста. Анналы хирургической гепатоло-гии. 2024; 29 (3): С. 60–69. https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-3-60-69

3. Brunt L. M., Deziel D. J., Telem D. A., et. al. Safe cholecystectomy multi-society practice guideline and state of the art consensus conference on prevention of bile duct injury during cholecystectomy. Ann. Surg. 2020; 272 (1): C. 3–23. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003791

4. Cheng K., You J., Wu S., et al. Artificial Intelligence-Based Automated Laparoscopic Cholecystectomy Surgical Phase Recognition and Analysis. Surgi-cal Endoscopy. 2022; 36 (5): C. 3160–3168. https://doi.org/10.1007/s00464-021-08619-3

5. Cheruiyot I., Nyaanga F., Kipkorir V., et. al. The prevalence of the Rouvi-ere's sulcus: a meta-analysis with implications for laparoscopic cholecystectomy. Clin. Anat. 2021; 34 (4): C. 556–564. https://doi.org/10.1002/ca.23605

6. 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 Sur-gery. 2025; 410 (1): C. 101. https://doi.org/10.1007/s00423-025-03651-6

7. Esposito C., Corcione F., Settimi A., et. al. Twenty-Five year experience with laparoscopic cholecystectomy in the pediatric population – from 10 mm clips to indocyanine green fluorescence technology: long-term results and technical considerations. J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. 2019; 29 (9): C. 1185–1191. https://doi.org/10.1089/lap.2019.0254

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

9. Kawamura M., Endo Y., Fujinaga A., et al. Development of an Artificial Intelligence System for Real-Time Intraoperative Assessment of the Critical View of Safety in Laparoscopic Cholecystectomy. Surgical Endoscopy. 2023; 37 (11): C. 8755–8763. https://doi.org/10.1007/s00464-023-10328-y

10. Mascagni P., Alapatt D., Urade T., et al. A Computer Vision Platform to Automatically Locate Critical Events in Surgical Videos: Documenting Safety in Laparoscopic Cholecystectomy. Annals of Surgery. 2021; 274 (1): C. 93–95. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004736

11. Mascagni P., Vardazaryan A., Alapatt D., et al. Artificial Intelligence for Surgical Safety: Automatic Assessment of the Critical View of Safety in Laparoscopic Cholecystectomy Using Deep Learning. Annals of Surgery. 2022; 275 (5): C. 955–961. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004351

12. Mejía N. A. R., De la Cruz Rey S., Cervantes-Sánchez C. R., et al. Devel-opment and Validation of the ENDOLAP Artificial Intelligence Framework for Inflammation Severity Classification in Laparoscopic Cholecystectomy: A Cross-Sectional Study. Surgical Endoscopy. 2025; 39 C. 6670–6684 https://doi.org/10.1007/s00464-025-12067-8

13. Nakanuma H., Endo Y., Fujinaga A., et al. An Intraoperative Artificial In-telligence System Identifying Anatomical Landmarks for Laparoscopic Cholecys-tectomy: A Prospective Clinical Feasibility Trial (J-Summit-C-01). Surgical Endoscopy. 2023; 37 (3): C. 1933–1942. https://doi.org/10.1007/s00464-022-09678-w

14. Strasberg S. M. A three-step conceptual roadmap for avoiding bile duct in-jury in laparoscopic cholecystectomy: an invited perspective review. J. Hepato-Biliary-Pancreat. Sci. 2019; 26 (4): C. 123–127. https://doi.org/10.1002/jhbp.616

15. Tokuyasu T., Iwashita Y., Matsunobu Y., et al. Development of an Artifi-cial Intelligence System Using Deep Learning to Indicate Anatomical Landmarks During Laparoscopic Cholecystectomy. Surgical Endoscopy. 2021; 35 (4): C. 1651–1658. https://doi.org/10.1007/s00464-020-07548-x

16. Ward T. M., Hashimoto D. A., Ban Y., et al. Artificial Intelligence Predic-tion of Cholecystectomy Operative Course from Automated Identification of Gallbladder Inflammation. Surgical Endoscopy. 2022; 36 (9): C. 6832–6840. https://doi.org/10.1007/s00464-022-09009-z