УДК: 616.366 - 089.87

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНДОВИДЕОЛАПАРОДОСТУПА ПРИ ХОЛЕЦИСТЭКТОМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

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

MODELING OF ENDOVIDEOLAPAROSCOPIC ACCESS DURING CHOLECYSTECTOMY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Tadjibaev Sh.A.[1], Abdurashidov F.Sh.[2], Saminjonov Kh.U.[1]
[1]Andijan State Medical Institute, Andijan.
[2]Non-State Higher Educational Institution "University of Business and Science", Namangan.

SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANGAN HOLDA XOLESISTEKTOMIYADA ENDOVIDEOLAPARODOSTUPNI MODELLASHTIRISH

Tadjibaev Sh.A.[1], Abdurashidov F.Sh.[2], 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 рамках работы проведён анализ 176 пациентов с применением мультиспиральной компьютерной томографии и программного комплекса «MedScan AI», основанного на сверточных нейронных сетях. Система обеспечивала автоматическую сегментацию желчного пузыря, определение углового положения органа и виртуальное моделирование оптимальной*
Ключевые слова: *лапароскопическая холецистэктомия, искусственный интеллект, эндовидеолапародоступ, MedScan AI, моделирование, троакары.*

Annotatsiya: *Ish doirasida 176 bemorning ma'lumotlari ko'rib chiqildi, bunda multispiral kompyuter tomografiyasi hamda konvolyutsion neyron tarmoqlariga asoslangan "MedScan AI" dasturiy kompleksi qo'llanildi. Tizim o't pufagini avtomatik segmentatsiya qilish, uning burchak holatini aniqlash va troakarlarni optimal joylashtirishning virtual modellashtirilishini ta'minladi.*
Kalit so'zlar: *laparoskopik xoletsistektomiya, sun'iy intellekt, endovideolaparodostup, MedScan AI, modellashtirish, troakarlar.*

Abstract: *The study analyzed data from 176 patients using multislice computed tomography and the "MedScan AI" software package based on convolutional neural networks. The system provided automatic segmentation of the gallbladder, determination of its angular orientation, and virtual modeling of optimal trocar placement.*
Keywords: *laparoscopic cholecystectomy, artificial intelligence, endovideolaparoscopic access, MedScan AI, modeling, trocars.*

Введение: Внедрение технологий компьютерного зрения и глубокого обучения в лапароскопическую хирургию открывает новые возможности для объективизации интраоперационных данных и повышения безопасности па-циентов. Современные исследования демонстрируют, что алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) способны эффективно моделировать и интерпретировать эндовидеоданные, выполняя задачи от распознавания хирургических фаз до идентификации критических анатомических структур в реальном времени.

Распознавание хирургических фаз и анализ рабочего процесса. Фундаментальным этапом в создании интеллектуальных ассистирующих систем является автоматическое распознавание этапов операции. В исследовании Golany et al. [3] был разработан алгоритм ИИ, который продемонстрировал точность распознавания хирургических фаз на уровне 89%, что сопоставимо с уровнем согласованности между экспертами-хирургами (90%). Однако авторы выявили обратную корреляцию между эффективностью модели и сложностью процедуры: точность снижалась с 92% при стандартных вмешательствах до 81% в клинически сложных случаях, что указывает на необходимость дообучения систем на гетерогенных данных. Подтверждая эти данные, многоцентровое исследование Cheng et al. [1], включавшее анализ 163 видеозаписей, показало общую точность распознавания фаз моделью глубокого обучения на уровне 91,05%. При этом было отмечено значительное увеличение времени выполнения этапа мобилизации треугольника Кало при остром холецистите, что подчеркивает способность ИИ фиксировать вариабельность хирургического процесса в зависимости от патологии. Для автоматизации документации критических событий Mascagni et al. [5] представили платформу EndoDigest, которая с высокой надежностью определяет момент пересечения пузырного протока (средняя абсолютная ошибка 62,8 секунды). Данная система позволяет автоматически формировать короткие видеоклипы, в 91% случаев пригодные для оценки достижения «Критического взгляда безопасности» (Critical View of Safety — CVS), тем самым снижая нагрузку по хранению и анализу полных видеоархивов.

Интраоперационная навигация и идентификация анатомических структур. Ключевым аспектом моделирования эндовидеодоступа является прецизионная визуализация анатомических ориентиров для предотвращения повреждений желчных протоков. Систематический обзор, проведенный Corallino et al. [2], показал, что современные ИИ-системы достигают средней точности (mean average precision) 98% в детекции

билиарных структур. Примечательно, что использование ИИ приводило к изменению хирургической разметки в 27% случаев, причем 70% этих изменений расценивались как бо-лее безопасные, что подтверждает потенциал технологии в профилактике ятрогенных травм. Практическая реализация подобного подхода была продемонстрирована Nakanuma et al. [8] в ходе клинического испытания системы «Smart Endoscopic Surgery» (SES). Внешняя экспертная оценка подтвердила высокую точность детекции анатомических ориентиров с использованием коэффициента Дайс (DICE), что стало первым прецедентом валидации навигационной ИИ-системы в реальной клинической практике. Параллельно с этим, Tokuyasu et al. [9] разработали модель на базе архитектуры YOLOv3 для идентификации четырех ключевых ориентиров, включая борозду Рувьера и общий желчный проток. Несмотря на варьирующую точность для разных структур, использование данной системы визуализации в эксперименте достоверно повышало ситуационную осведомленность хирургической бригады относительно топографии зоны операции.

Оценка критериев безопасности (CVS) и прогнозирование сложности.

Автоматизация оценки достижения «Критического взгляда безопасности» (CVS) представляет собой еще одно важное направление компьютерного моделирования. Kawamura et al. [4] представили программное обеспечение, способное оценивать критерии CVS в реальном времени со скоростью около 6 кадров в секунду. Лучшая модель показала высокие метрики эффективности: точность (precision) 0,971 и полноту (recall) 0,737, что позволяет использовать систему для немедленной обратной связи с хирургом. Дополняя эти результаты, Mascagni et al. [6] использовали глубокие нейронные сети для сегментации гепатоцистной зоны на статических изображениях. Модель продемонстрировала среднюю точность (mAP) 71,9% при оценке выполнения критериев CVS, доказывая возможность надежной алгоритмической интерпретации визуальных данных безопасности. Наряду с анатомической навигацией, ИИ демонстрирует эффективность в предоперационном и интраопе-рационном прогнозировании сложности вмешательства на основе оценки воспаления. Ward et al. [10] обучили модель определять степень воспаления желчного пузыря по шкале Паркленда, достигнув высокой согласованности с экспертной оценкой (альфа Криппендорфа 0,71). Исследование показало, что степень воспаления, определяемая ИИ, коррелирует с длительностью операции и рисками перфорации желчного пузыря, что позволяет оптимизировать логистику операционного блока. Развивая эту тему, Mejía et al. [7] разработали и валидировали фреймворк ENDOLAP-IA на базе YOLOv8 для классификации тяжести воспаления в реальном времени. Модель показала отличную различительную способность (AUC = 0,923) и устранила проблему межличностной вариабельности оценок, характерную для 17% случаев экспертного анализа, обеспечивая стандартизацию принятия решений.

Таким образом, анализ литературы свидетельствует о том, что интеграция искусственного интеллекта в эндовидеохирургию желчнокаменной болезни трансформирует подходы к визуализации и безопасности, обеспечивая объективное моделирование хирургической анатомии и этапов вмешательства. Необходимо отметить, что данное исследование способствует выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан №ПП-358 от 14 октября 2024 года о Стратегии развития технологий ИИ до 2030 года.

Цель исследования — разработать и оценить возможности моделирования эндовидеолапародоступа при лапароскопической холецистэктомии с использованием технологий искусственного интеллекта.

Материал и методы: Для реализации поставленных задач в период 2023–2025 гг. проводилось комплексное обследование 176 пациентов. Визуализация гепатобилиарной зоны осуществлялась на современном мультиспиральном компьютерном томографе (МСКТ) «Siemens SOMATOM Definition Edge» (Германия) с толщиной среза 0,5 мм. Выбор МСКТ в качестве основного метода моделирования эндовидеодоступов обусловлен возможностью получения высокоточных трансверзальных срезов брюшной полости в проекции желчного пузыря (ЖП), а также построения 3D-реконструкций, что позволяет объективно оценить топографо-анатомические соотношения органов.

Принципиальным отличием методологии исследования стало внедрение в диагностический алгоритм специализированного программного обеспечения «MedScan AI» (версия 2.0). Данная система, основанная на сверточных нейронных сетях (CNN), использовалась для автоматической сегментации желчного пузыря, расчета его объемных характеристик и угловых параметров относительно горизонтальной плоскости. «MedScan AI» позволял проводить виртуальное моделирование установки троакаров, рассчитывая траектории инструментов и прогнозируя риски «фехтования» (пересечения зон действия) манипуляторов. Всего исследовано 176 больных независимо от пола, конституции и патологии желчного пузыря. Обработка данных производилась на рабочей станции с графическим ускорителем NVIDIA RTX A5000, обеспечивающею высокую скорость инференса нейросетевых моделей.

Результаты и их обсуждение: Прежде чем приступить к освещению данного раздела работы хотелось бы отметить конкретное определение эндовидеолапародоступа сформулированное искусственным интеллектом. Цитата: «Это этап хирургической операции, заключающийся в проколе передней брюшной стенки, введении специальных портов (троакаров) и оптической системы (видеокамеры) для создания адекватного и рационального рабочего пространства для визуализации органов брюшной полости на мониторе и качественного выполнения всех этапов оперативного вмешательства». Таким образом, в контексте нашего исследования эндовидеолапародоступ — это рациональное и/или адекватное установка троакаров для получения чет-кой и качественной оптической картины «зоны интереса», и создание удобных рабочих углов действия для эндоинструментов (манипуляторов) для производства всех этапов оперативного вмешательства.

На начальном этапе работы анализ томограмм производился в автоматическом режиме с использованием алгоритмов «MedScan AI». Система сегментировала желчный пузырь и строила осевую линию, проходящую от наивысшей точки дна к центру шейки. На основе рассчитанного угла наклона данной оси по отношению к горизонтальной плоскости, ИИ классифицировал анатомо-топографические варианты расположения органа. Программный комплекс «MedScan AI» подтвердил целесообразность выделения трех стандартов взаимоотношений, предоставив количественную верификацию для каждого случая:

I группа – Вертикальный стандарт (Vesicae felleae verticalis norma). Угол наклона оси находится в секторе от 61 до 90 градусов (рис. 1). Анализ MedScan AI: Система идентифицирует высокий угол наклона (>60°). Сегментация показывает проекционное наложение шейки ЖП и кармана Гартмана. Заключение ИИ: Прогнозируется высокий риск инструментального конфликта при стандартной установке портов. Рекомендуется коррекция точек доступа.

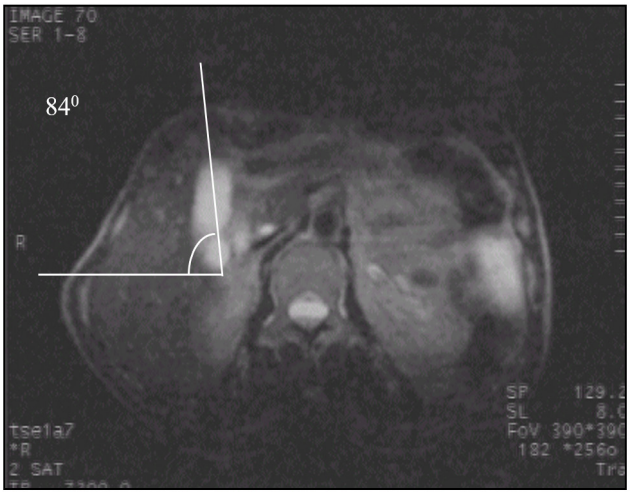


Рис.1. Вертикальный стандарт (Vesicae felleae verticalis norma).

II группа – Срединный стандарт (norma mediana). Угол наклона в секторе от 31 до 60 градусов (рис. 2).

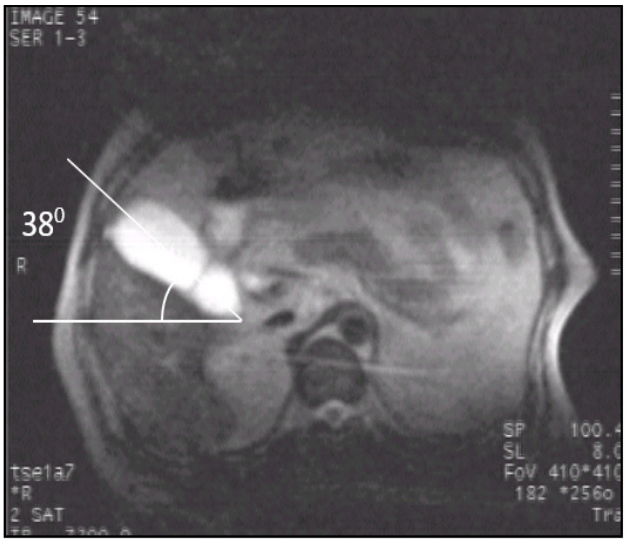


Рис. 2. Срединный стандарт (norma mediana).

Анализ MedScan AI: Угол наклона оптимален (45°±10°). Пространственная ориентация органа обеспечивает естественную триангуляцию. Заключение ИИ: Зона безопасности максимальна. Стандартная расстановка троакаров эффективна.

III группа – Горизонтальный стандарт (norma horizontalis). Угол наклона в секторе от 0 до 30 градусов (рис. 3). Анализ MedScan AI: Низкий угол наклона (<30°). Шейка ЖП смещена дорзально и медиально. Заключение ИИ: Затруднен доступ к треугольнику Кало. Требуется изменение угла атаки инструментов или ротационные маневры.

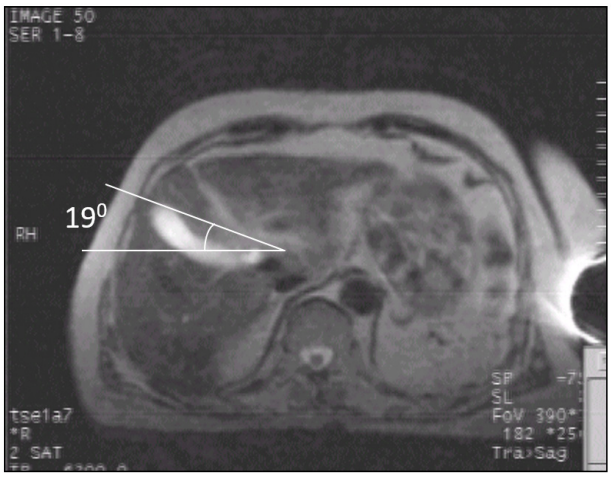


Рис. 3. Горизонтальный стандарт (norma horizontalis).

Распределение пациентов по выявленным ИИ стандартам расположения желчного пузыря представлено в таб. 1.

Характер позиционных вариантов желчного пузыря (верификация MedScan AI).

Таблица 1.

Характер позиции (Классификация ИИ)	Угловой диапазон (град.)	Abs	%	Индекс сложности доступа (MedScan Score)*
Вертикальный стандарт	61° – 90°	42	23,8	Высокий (0.85)
Срединный стандарт	31° – 60°	108	61,4	Низкий (0.21)
Горизонтальный стандарт	0° – 30°	26	14,8	Средний/ Высокий (0.64)
Всего		**176**	**100,0**	

** Примечание: Индекс сложности рассчитывается ИИ на основе вероятности конфликта инструментов (0 – отсутствие риска, 1 – критический конфликт).*

Как видно из представленных данных, в 108 случаях (61,4%) ИИ вы-явил срединное расположение. Вертикальное расположение обнаружено у 42 пациентов (23,8%), горизонтальное — у 26 (14,8%). Используя «MedScan AI» провели симуляцию введения троакаров для каждого типа расположения с целью оценки эргономики.

При вертикальной позиции (рис. 4) система смоделировала стандартную установку портов. Анализ MedScan AI: Детектировано пересечение векторов действия эпигастрального троакара (Тр.1) и троакара по среднеключичной линии (Тр.2). Угол между инструментами - менее 30° (острый угол). Заклю-чение ИИ: Зоны действия инструментов перекрываются (эффект «sword fighting»). Риск ятрогенного повреждения повышен. Рекомендуется смещение Тр.2 латерально на 3-4 см.

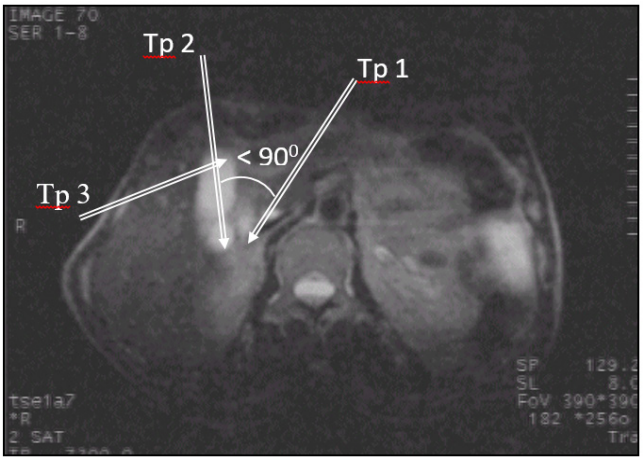


Рис. 4. Стандартное расположение троакаров при вертикальном стандарте.

При срединной позиции (рис. 5) моделирование показало наилучшие результаты.

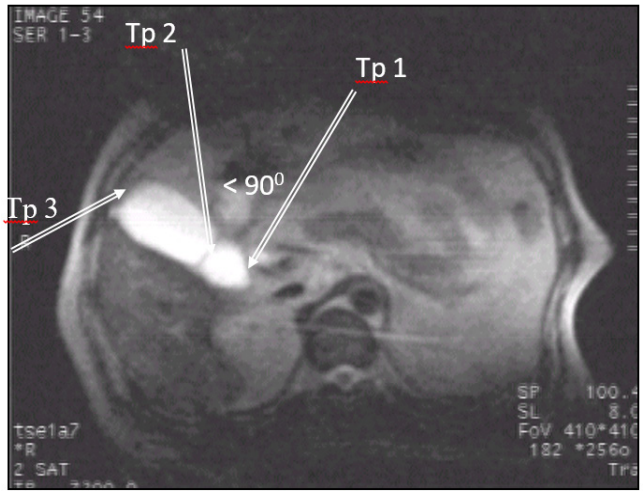


Рис. 5. Стандартное расположение троакаров при срединной позиции.

Анализ MedScan AI: Векторы инструментов образуют угол 60-90°. Зоны соприкосновения минимальны.

Заключение ИИ: Обеспечивается свободный доступ к передней и задней стенкам кармана Гартмана. Эргономика оптимальна, риск технических трудностей при диссекции треугольника Кало минимален.

При горизонтальной позиции (рис. 6) система выявила специфические ограничения.

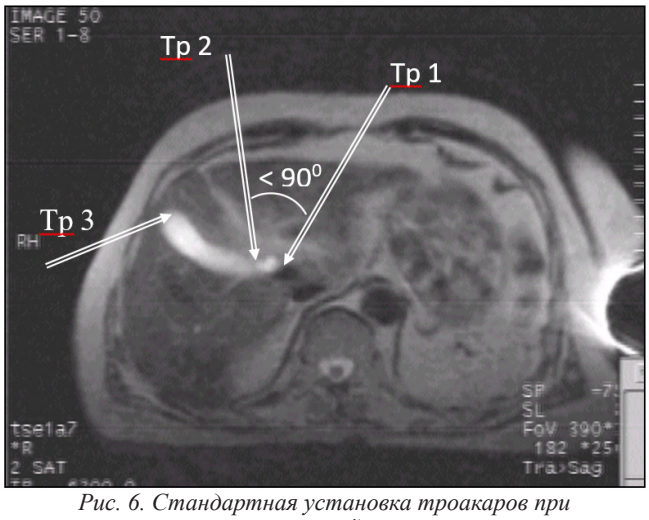


Рис. 6. Стандартная установка троакаров при горизонтальной позиции.

Анализ MedScan AI: Визуализируется экранирование задней стенки шейки ЖП телом пузыря. Прямой доступ ограничен. Заключение ИИ: Для адекватной визуализации необходимы дополнительные ротационные движения инструментом в области кармана Гартмана. Система рекомендует использование угловой оптики (30° или 45°) для компенсации угла обзора.

Таким образом, использование ИИ позволило объективно доказать, что нерациональная установка троакаров без учета топографии органа, что определяется на этапе первичной визуальной ревизии, создает прогнозируемые технические трудности, удлиняющие время операции и повышающие риски интраоперационных осложнений.

Выводы:

1. Предиктивное моделирование: Интеграция программного комплекса «MedScan AI» в предоперационное планирование позволяет с высокой точностью классифицировать топографо-анатомические варианты расположения желчного пузыря (вертикальный, срединный, горизонтальный), обеспечивая персонифицированный подход к каждому пациенту.

2. Оптимизация доступа: Анализ данных, полученных с помощью искусственного интеллекта, подтверждает, что стандартная схема расстановки троакаров эффективна лишь при срединном расположении органа. В случаях вертикальной или горизонтальной позиции ИИ рекомендует коррекцию точек доступа для предотвращения инструментального конфликта и обеспечения адекватной триангуляции.

3. Клиническая значимость: Применение компьютерного моделирования и ИИ-ассистированной навигации способствует снижению интраопера-ционных рисков, обеспечивая свободное манипулирование в зоне треугольника Кало и улучшая визуализацию критических структур, что является за-логом безопасного выполнения лапароскопической холецистэктомии.

References:

1. 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):3160-3168. doi:10.1007/s00464-021-08619-3.

2. 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):101. doi:10.1007/s00423-025-03651-6.

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

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

5. 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): e93-e95. doi:10.1097/SLA.0000000000004736.

6. Mascagni P, Vardazaryan A, Alapatt D, et al. Artificial Intelligence for Surgical Safety: Automatic Assessment of the Critical View of Safety in Lap-aroscopic Cholecystectomy

Using Deep Learning. Annals of Surgery. 2022;275(5):955-961. doi:10.1097/SLA.0000000000004351.

7. Mejía NAR, De la Cruz Rey S, Cervantes-Sánchez CR, 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. doi:10.1007/s00464-025-12067-8.

8. Nakanuma H, Endo Y, Fujinaga A, et al. An Intraoperative Artificial Intelligence System Identifying Anatomical Landmarks for Laparoscopic Chole-cystectomy: A Prospective Clinical Feasibility Trial (J-Summit-C-01). Surgical Endoscopy. 2023;37(3):1933-1942. doi:10.1007/s00464-022-09678-w.

9. Tokuyasu T, Iwashita Y, Matsunobu Y, et al. Development of an Ar-tificial Intelligence System Using Deep Learning to Indicate Anatomical Land-marks During Laparoscopic Cholecystectomy. Surgical Endoscopy. 2021;35(4):1651-1658. doi:10.1007/s00464-020-07548-x.

10. Ward TM, Hashimoto DA, Ban Y, et al. Artificial Intelligence Predic-tion of Cholecystectomy Operative Course from Automated Identification of Gallbladder Inflammation. Surgical Endoscopy. 2022;36(9):6832-6840. doi:10.1007/s00464-022-09009-z.