

**АНДИЖАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ
НЕГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«UNIVERSITY OF BUSINESS AND SCIENCE»**

«СОГЛАСОВАНО»

**Ректор негосударственного высшего
Учебного заведения «University of business
and science» д.г.н., профессор**

_____ **К.М. Боймирзаев**

«__» _____ **2026 г.**

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель совета АГМИ

д.м.н., профессор

_____ **М.М.Мадазимов**

«__» _____ **2026 г.**

**ТАДЖИБАЕВ ШАРАФ АБДУРАШИДОВИЧ
АБДУРАШИДОВ ФАЗЛИДДИН ШАРАФУТДИНОВИЧ**

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗА-
ЦИИ ДИАГНОСТИКИ И МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ЖЕЛЧНО-
КАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ**

(МОНОГРАФИЯ)

Андижан 2026 г.

**Андижанский Государственный Медицинский Институт
Негосударственное высшее учебное заведение «University of business and
science»**

«СОГЛАСОВАНО»

**Ректор негосударственного высшего
Учебного заведения «University of business
and science» д.г.н., профессор**

_____ **К.М. Боймирзаев**

« ____ » _____ **2026 г.**

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель совета АГМИ

д.м.н., профессор

_____ **М.М.Мадазимов**

« ____ » _____ **2026 г.**

**ТАДЖИБАЕВ ШАРАФ АБДУРАШИДОВИЧ
АБДУРАШИДОВ ФАЗЛИДДИН ШАРАФУТДИНОВИЧ**

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗА-
ЦИИ ДИАГНОСТИКИ И МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ЖЕЛЧНО-
КАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ**

(МОНОГРАФИЯ)

Андижан 2026 г.

Авторы:

Таджибаев Ш.А. - д.м.н., доцент кафедры хирургических болезней и гражданской обороны Андижанского Государственного Медицинского Института.

Абдурашидов Ф. Ш. - ассистент кафедры медицины негосударственного высшего учебного заведения «University of business and science».

Данная монография освещает отдельное и конкретное научное направление в абдоминальной хирургии, а именно применение искусственного интеллекта в оптимизации методов диагностики и способов малоинвазивных методик хирургического лечения желчнокаменной болезни, и представляет большой научно-практический интерес для студентов старших курсов, клинических ординаторов, магистров по специальности «Хирургия», врачей-хирургов практического здравоохранения, а также курсантов и стажеров, проходящих специализацию по циклу «Хирургия» на ФУВ,

Рецензенты:

Б.Р. Абдуллажанов – доктор медицинских наук, профессор кафедры хирургических болезней Андижанского Государственного Медицинского Института.

А.О. Охунов - доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей и детской хирургии Ташкентского государственного медицинского университета.

Монография утверждена на заседании Ученого Совета Андижанского Государственного медицинского института _____ 2026 г., протокол № _____

Учёный секретарь, д.х.н., доцент:

МЎМИНОВА Г. А.

Резюме

В монографии анализируются возможности интеграции мульти-модальной ультразвуковой диагностики и технологий искусственного интеллекта (ИИ) в хирургическую практику. В работе использовались архитектуры глубокого обучения YOLOv3 и YOLOv8 для автоматизированной сегментации анатомических ориентиров билиарной зоны и оценки критериев безопасности CVS (Critical View of Safety). Результаты исследования продемонстрировали диагностическую точность свыше 95%. Установлено, что применение ИИ минимизирует фактор субъективности оператора и способствует значительному снижению риска интраоперационных осложнений. Интеграция ИИ в ультразвуковую навигацию признана перспективным инструментом повышения безопасности в абдоминальной хирургии.

Кроме того разработана архитектура программного обеспечения на базе искусственного интеллекта (ИИ) для анализа МРТ-снимков, создания 3D-модели брюшной полости и автоматического расчета оптимальных точек эндовидеолапароскопического доступа. В основе предлагаемой системы лежит алгоритм машинного обучения (нейросеть архитектуры U-Net) для сегментации органов и сосудов по данным МРТ. Разработан модуль математического моделирования пневмоперитонеума для прогнозирования смещения органов под воздействием газа. Спроектирован интерфейс и логическое ядро системы «LaparoGuide», обеспечивающее визуализацию «зон безопасности» (зеленая зона) и «зон риска» (красная зона) на брюшной стенке. Система рассчитывает триангуляцию инструментов с соблюдением оптимального угла 60–90° к целевому органу.

Выявлен потенциал ИИ-технологий в повышении точности визуализации, стандартизации интраоперационного анализа и снижении риска хирургических осложнений при лапароскопической холецистэктомии.

Вмешательства сопровождалась стандартной видеорегистрацией, что позволило сформировать единый массив эндовидеоданных. Были использованы методы автоматизированного извлечения визуальных признаков, фазового ана-

лиза, детекции 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.

Улучшено результаты хирургического лечения ЖКБ путем клинко-анатомического обоснования косой минилапаротомии с использованием системы искусственного интеллекта (ИИ) «MedScan AI». Для этого проведен анализ МР-томограмм 176 пациентов для изучения топографии желчного пузыря (ЖП). На основе ИИ-алгоритмов разработана классификация позиционных стандартов ЖП. ИИ позволил выделить три типа расположения ЖП: вертикальный (23,8%), срединный (61,4%) и горизонтальный (14,8%). Установлено, что косая минилапаротомия обеспечивает оптимальную зону доступности при всех типах. Применение ИИ позволило математически рассчитать точку разреза, минимизируя повреждение прямых мышц живота и сокращая время реабилитации.

Произведена оценка эффективности и безопасности применения оригинальной методики минилапаротомии в качестве альтернативного доступа при необходимости конверсии в ходе лапароскопической холецистэктомии (ЛХЭ). Проведен анализ результатов лечения 328 пациентов с холецистолитиазом. Частота перехода к открытому доступу составила 3,0% (10 случаев). В качестве метода конверсии во всех случаях использовалась минилапаротомия по оригинальной методике клиники (Патент №05079 ПВ РУз) с разрезом до 5 см и медиальным смещением прямой мышцы живота. Средний послеоперационный койко-день составил 5 суток. Осложнений, связанных с техникой доступа, не наблюдалось. Выявлено что минилапаротомия является эффективным и мало-травматичным методом конверсии, позволяющим сохранить принципы мало-инвазивности даже при осложненном течении операции и сократить сроки реабилитации пациентов.

Планируется продолжение исследований в этой области для совершенствования методов и технологий. Предварительные результаты применения искусственного интеллекта, свидетельствуют о широких перспективах создания

новых направлений и концепций в малоинвазивной хирургии желчнокаменной болезни.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, компьютерное моделирование, лапароскопическая холецистэктомия, минилапаротомия, эндовидеолапародоступ, компьютерное зрение, хирургическая навигация.

Abstract

This monograph analyzes the potential for integrating multimodal ultrasound diagnostics and artificial intelligence (AI) technologies into surgical practice. The study utilized the YOLOv3 and YOLOv8 deep learning architectures for automated segmentation of biliary landmarks and assessment of Critical View of Safety (CVS) criteria. The study demonstrated diagnostic accuracy exceeding 95%. The use of AI was found to minimize operator bias and significantly reduce the risk of intraoperative complications. The integration of AI into ultrasound navigation is recognized as a promising tool for improving safety in abdominal surgery.

Furthermore, an artificial intelligence (AI)-based software architecture was developed for analyzing MRI images, creating a 3D model of the abdominal cavity, and automatically calculating optimal endovideolaparoscopic access points. The proposed system is based on a machine learning algorithm (U-Net neural network) for segmenting organs and vessels based on MRI data. A mathematical modeling module for pneumoperitoneum was developed to predict organ displacement under gas exposure. The interface and logic core of the LaparoGuide system were designed to visualize "safety zones" (green zone) and "risk zones" (red zone) on the abdominal wall. The system calculates instrument triangulation while maintaining an optimal angle of 60–90° to the target organ.

The potential of AI technologies to improve visualization accuracy, standardize intraoperative analysis, and reduce the risk of surgical complications during laparoscopic cholecystectomy was identified.

The interventions were accompanied by standard video recording, which allowed for the creation of a unified array of endoscopic video data. Automated feature extraction, phase analysis, detection of anatomical structures, and computational as-

assessment of critical zones (Critical View of Safety) were used. The demographic composition of the study included 150 women (62.0%) and 92 men (38.0%), with a mean age of 49 ± 14 years.

The results of surgical treatment of cholelithiasis were improved by clinical and anatomical substantiation of oblique minilaparotomy using the MedScan AI artificial intelligence (AI) system. For this purpose, MRI scans of 176 patients were analyzed to study the topography of the gallbladder (GB). Based on AI algorithms, a classification of GB positioning standards was developed. The AI identified three types of GB positioning: vertical (23.8%), midline (61.4%), and horizontal (14.8%). It was found that oblique minilaparotomy provides optimal accessibility for all types. The use of AI allowed for mathematical calculation of the incision point, minimizing damage to the rectus abdominis muscles and reducing rehabilitation time. The efficacy and safety of an original minilaparotomy technique as an alternative approach when conversion was necessary during laparoscopic cholecystectomy (LC). Treatment outcomes for 328 patients with cholelithiasis were analyzed. The conversion rate to an open approach was 3.0% (10 cases). Minilaparotomy, using the clinic's original technique (Patent No. 05079 PV RUz), with an incision of up to 5 cm and medial displacement of the rectus abdominis muscle, was used as the conversion method in all cases. The average postoperative hospital stay was 5 days. No complications related to the approach technique were observed. Minilaparotomy was found to be an effective and minimally invasive conversion method, maintaining the principles of minimally invasive surgery even in complicated cases and reducing patient recovery time.

Continued research in this area is planned to improve methods and technologies. Preliminary results of the application of artificial intelligence demonstrate broad prospects for developing new approaches and concepts in minimally invasive gallstone surgery.

Keywords: Artificial intelligence, computer modeling, laparoscopic cholecystectomy, minilaparotomy, endovideo laparotomy, computer vision, surgical navigation.

Abstrakt

Ushbu monografiya jarrohlik amaliyotiga multimodal ultratovush diagnostikasi va sun'iy intellekt (AI) texnologiyalarini integratsiya qilish imkoniyatlarini tahlil qiladi. Tadqiqotda safro yo'llarining belgilarini avtomatlashtirilgan segmentlash va xavfsizlikning tanqidiy ko'rinishi (CVS) mezonlarini baholash uchun YOLOv3 va YOLOv8 chuqur o'rganish arxitekturalaridan foydalanilgan. Tadqiqot diagnostika aniqligi 95% dan oshganligini ko'rsatdi. Sun'iy intellektdan foydalanish operatorning tarafkashligini minimallashtirishi va operatsiya vaqtidagi asoratlarning xavfini sezilarli darajada kamaytirishi aniqlandi. Sun'iy intellektni ultratovush navigatsiyasiga integratsiya qilish qorin bo'shlig'i jarrohlida xavfsizlikni yaxshilashning istiqbolli vositasi sifatida tan olingan.

Bundan tashqari, MRT tasvirlarini tahlil qilish, qorin bo'shlig'ining 3D modelini yaratish va optimal endovideolaparoskopik kirish nuqtalarini avtomatik ravishda hisoblash uchun sun'iy intellekt (AI) asosidagi dasturiy ta'minot arxitekturasi ishlab chiqildi. Taklif etilayotgan tizim MRT ma'lumotlari asosida organlar va tomirlarni segmentlash uchun mashina o'rganish algoritmiga (U-Net neyron tarmog'i) asoslangan. Gaz ta'sirida organlarning siljishini bashorat qilish uchun pnevmoperitoneum uchun matematik modellashtirish moduli ishlab chiqilgan. LaparoGuide tizimining interfeysi va mantiqiy yadrosi qorin devorida "xavfsizlik zonalari" (yashil zona) va "xavf zonalari" (qizil zona) ni vizualizatsiya qilish uchun mo'ljallangan. Tizim maqsadli organga optimal 60-90° burchakni saqlab turganda asbob triangelulyatsiyasini hisoblaydi.

Laparoskopik xoletsistektomiya paytida vizualizatsiya aniqligini oshirish, operatsiya ichidagi tahlilni standartlashtirish va jarrohlik asoratlari xavfini kamaytirish uchun sun'iy intellekt texnologiyalarining salohiyati aniqlandi.

Aralashuvlar standart video yozuv bilan birga olib borildi, bu esa endoskopik video ma'lumotlarining yagona massivini yaratish imkonini berdi. Avtomatlashtirilgan xususiyatlarni ajratib olish, fazaviy tahlil, anatomik tuzilmalarni aniqlash va muhim zonalarni hisoblash orqali baholash (Xavfsizlikning muhim ko'rinishi) qo'llanildi. Tadqiqotning demografik tarkibiga o'rtacha yoshi 49 ± 14 yosh bo'lgan 150 ayol (62,0%) va 92 erkak (38,0%) kiritilgan.

Xolelitiazni jarrohlik yo'li bilan davolash natijalari MedScan AI sun'iy intellekt (AI) tizimidan foydalangan holda qiyshiq minilaparotomiyani klinik va anatomik asoslash orqali yaxshilandi. Shu maqsadda, o't pufagi (GB) topografiyasini o'rganish uchun 176 bemorning MRT tekshiruvlari tahlil qilindi. AI algoritmlari asosida GB joylashuv standartlarining tasnifi ishlab chiqildi. AI GB joylashuvining uch turini aniqladi: vertikal (23,8%), o'rta chiziq (61,4%) va gorizonttal (14,8%). Oblik minilaparotomiya barcha turlar uchun optimal kirishni ta'minlashi aniqlandi. AI dan foydalanish kesma nuqtasini matematik hisoblash, rektus abdominis mushaklariga zararni minimallashtirish va rehabilitatsiya vaqtini qisqartirish imkonini berdi. Laparoskopik xolelsistektomiya (LC) paytida konversiya zarur bo'lganda muqobil yondashuv sifatida asl minilaparotomiya texnikasining samaradorligi va xavfsizligi. Xolelsistolitiaz bilan og'rigan 328 bemor uchun davolash natijalari tahlil qilindi. Ochiq yondashuvga o'tish darajasi 3,0% ni tashkil etdi (10 ta holat). Barcha holatlarda konversiya usuli sifatida klinikaning asl texnikasidan (Patent № 05079 PV RUz) foydalangan holda, 5 sm gacha kesma va rektus abdominis mushaklarining medial siljishi bilan minilaparotomiya qo'llanildi. Operatsiyadan keyingi o'rtacha kasalxonada yotish muddati 5 kunni tashkil etdi. Yondashuv texnikasi bilan bog'liq hech qanday asoratlarni kuzatilmadi. Minilaparotomiya samarali va minimal invaziv konversiya usuli ekanligi aniqlandi, hatto murakkab holatlarda ham minimal invaziv jarrohlik tamoyillarini saqlab qoladi va bemorning tiklanish vaqtini qisqartiradi.

Usullar va texnologiyalarni takomillashtirish uchun ushbu sohada tadqiqotlarni davom ettirish rejalashtirilgan. Sun'iy intellektni qo'llashning dastlabki natijalari minimal invaziv o't toshlari jarrohligida yangi yondashuvlar va kontseptsiyalarni ishlab chiqish uchun keng istiqbollarni namoyish etadi.

Kalit so'zlar: Sun'iy intellekt, kompyuter modellashtirish, laparoskopik xolelsistektomiya, minilaparotomiya, endovideo laparotomiya, kompyuter ko'rish, jarrohlik navigatsiyasi.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ:

ГО — Глубокое обучение (Deep Learning)

ЖКБ — Желчнокаменная болезнь

ИИ — Искусственный интеллект

КЗ — Компьютерное зрение (Computer Vision)

ЛХ — Лапароскопическая холецистэктомия

МО — Машинное обучение (Machine Learning)

МРХПГ — Магнитно-резонансная холангиопанкреатография

ПЖП — Повреждение желчных протоков

СНС — Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks)

CVS — «Критический взгляд безопасности» (Critical View of Safety)

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|---------|
| Введение | 14-17 |
| Глава I. Общее понятие об искусственном интеллекте (ИИ)..... | 18-33 |
| Глава II. Современные направления применения искусственного интеллекта в малоинвазивной хирургии желчнокаменной болезни (обзор литературы)... | 34-40 |
| Глава III. Анатомо-физиологические аспекты гепатобиллиарной системы. | 41-54 |
| Глава IV. Мультимодальная ультразвуковая диагностика холелитиаза: от ролуса и стратификации рисков до внедрения искусственного интеллекта | 55-65 |
| Глава V. Возможности применения ИИ - технологий в эндохирургии холелитиаза..... | 66-73 |
| Глава VI. Персонализированное предоперационное планирование лапародоступа в эндохирургии холецистолитиаза с использованием искусственного интеллекта и 3d-моделирования..... | 74-81 |
| Глава VII. Конверсия в эндовидеохирургии холецистолитиаза: современный взгляд на проблему выбора доступа..... | 82-87 |
| Глава VIII. Компьютерное моделирование и клинико-анатомическое обоснование косой минилапаротомии при хирургическом лечении желчнокаменной болезни с использованием искусственного интеллекта.... | 88-99 |
| Заключение | 100-103 |
| Список литературы | 104-113 |

CONTENTS

| | |
|---|----------------|
| INTRODUCTION | 14-17 |
| Chapter I. General Concept of Artificial Intelligence (AI)..... | 18-33 |
| Chapter II. Modern Directions of Artificial Intelligence Application in Minimally Invasive Surgery of Gallstone Disease (Literature Review)..... | 34-40 |
| Chapter III. Anatomical and Physiological Aspects of the Hepatobiliary System..... | 41-54 |
| Chapter IV. Multimodal Ultrasound Diagnosis of Cholelithiasis: From POCUS and Risk Stratification to Artificial Intelligence Implementation..... | 55-65 |
| Chapter V. Possibilities of Applying AI Technologies in Endosurgery of Cholelithiasis..... | 66-73 |
| Chapter VI. Personalized Preoperative Planning of Laparoscopic Access in Cholecystolithiasis Endosurgery Using Artificial Intelligence and 3D Modeling..... | 74-81 |
| Chapter VII. Conversion in Endovideosurgery of Cholecystolithiasis: A Modern View on the Problem of Access Choice..... | 82-87 |
| Chapter VIII. Computer Modeling and Clinico-Anatomical Substantiation of Oblique Minilaparotomy in the Surgical Treatment of Gallstone Disease Using Artificial Intelligence | 88-99 |
| CONCLUSION | 100-103 |
| REFERENCES | 104-113 |

MUNDARIJA

| | |
|--|----------------|
| KIRISH | 14-17 |
| I Bob. Sun'iy intellekt (SI) haqida umumiy tushuncha..... | 18-33 |
| II Bob. O't-tosh kasalligining kam invaziv xirurgiyasida sun'iy intellektni qo'llashning zamonaviy yo'nalishlari (adabiyotlar sharhi)..... | 34-40 |
| III Bob. Gepatobiliar tizimning anatomik va fiziologik jihatlari..... | 41-54 |
| IV Bob. Xolelitiazning multimodal ultratovush diagnostikasi: POCUS va xavf stratifikatsiyasidan sun'iy intellektni joriy etishgacha..... | 55-65 |
| V Bob. Xolelitiaz endoxirurgiyasida SI texnologiyalarini qo'llash imkoniyatlari..... | 66-73 |
| VI Bob. Xoletsistolitiaz endoxirurgiyasida sun'iy intellekt va 3D modellashtirishdan foydalangan holda laparoskopik kirishni personallashtirilgan operatsiyadan oldingi rejalashtirish..... | 74-81 |
| VII Bob. Xoletsistolitiaz endovideoxirurgiyasida konversiya: kirish yo'lini tanlash muammosiga zamonaviy qarash..... | 82-87 |
| VIII Bob. O't-tosh kasalligini xirurgik davolashda sun'iy intellektdan foydalangan holda qiyshiq minilaparotomiyani kompyuterda modellashtirish va klinik-anatomik asoslash..... | 88-99 |
| XULOSA | 100-103 |
| FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI | 104-113 |

Введение

Актуальность темы исследования. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) остается одной из наиболее распространенных гастроэнтерологических патологий в мире, сохраняя устойчивую тенденцию к росту заболеваемости. Согласно современным эпидемиологическим данным, распространенность холелитиаза в развитых странах варьирует от 10% до 20% среди взрослого населения, что накладывает колоссальное бремя на системы здравоохранения [65]. Лапароскопическая холецистэктомия (ЛХ), являясь «золотым стандартом» лечения симптоматической ЖКБ, ежегодно выполняется миллионам пациентов. Несмотря на отработанность методики и широкое внедрение концепции «безопасного вида» (Critical View of Safety — CVS), риск ятрогенных повреждений желчевыводящих путей (ПЖП) сохраняется на уровне 0,3–0,7% [67]. Данные осложнения, хотя и кажутся статистически редкими, ведут к драматическому снижению качества жизни пациентов, инвалидизации и многократным реконструктивным вмешательствам, а также к значительным медико-юридическим издержкам.

Основными причинами интраоперационных осложнений и диагностических ошибок являются не только анатомические вариации билиарной системы или выраженный воспалительный процесс, но и человеческий фактор: ошибки восприятия визуальной информации, усталость хирурга и субъективная интерпретация диагностических данных [75]. В условиях современной медицины, характеризующейся экспоненциальным ростом объемов клинических данных, традиционные методы принятия врачебных решений достигают своего естественного предела. В связи с этим возникает острая необходимость в интеграции высокотехнологичных инструментов поддержки принятия решений на всех этапах ведения пациента с ЖКБ.

Смена парадигмы: от доказательной медицины к цифровой хирургии. Последнее десятилетие ознаменовалось фундаментальным сдвигом в медицинской парадигме, связанным с внедрением технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (Machine Learning — ML). Искусственный интеллект перестает быть футуристической концепцией и трансформиру-

ется в прикладной инструмент, способный кардинально переосмыслить подходы к диагностике и хирургическому лечению [27]. В контексте ЖКБ применение ИИ охватывает три ключевых направления: автоматизированный анализ лучевых методов диагностики (УЗИ, КТ, МРТ), предоперационное прогнозирование сложности вмешательства и интраоперационную навигацию с использованием компьютерного зрения (Computer Vision — CV) [43].

На этапе диагностики алгоритмы глубокого обучения (Deep Learning), в частности сверточные нейронные сети (CNN), демонстрируют способность выявлять конкременты, оценивать толщину стенки желчного пузыря и признаки перивезикального воспаления с точностью, сопоставимой или превосходящей экспертную оценку врачей ультразвуковой диагностики [42]. Это особенно актуально в условиях приемных отделений и первичного звена, где дефицит узкопрофильных специалистов может приводить к диагностическим задержкам или гипердиагностике.

Однако наиболее перспективным и сложным направлением является интраоперационное применение ИИ. Современные системы компьютерного зрения, обученные на тысячах видеозаписей лапароскопических вмешательств, способны в режиме реального времени сегментировать анатомические структуры (пузырный проток, общую печеночную артерию, печень), распознавать фазы операции и, что критически важно, сигнализировать хирургу о выходе за пределы безопасных зон диссекции [68]. Разработки в области «умной» хирургии (Surgery 4.0) направлены на создание систем дополненной реальности (AR), которые накладывают виртуальные "карты безопасности" непосредственно на эндоскопическое изображение, минимизируя риск когнитивных ошибок хирурга [47].

Проблема прогнозирования и персонализации. Не менее важным аспектом является предоперационная стратификация рисков. Существующие шкалы оценки трудности холецистэктомии (например, шкала Tokyo Guidelines 2018 или Nassar scale) часто базируются на субъективных критериях и не всегда коррелируют с реальной интраоперационной картиной [25]. Использование мо-

делей машинного обучения, анализирующих большие массивы гетерогенных данных (клинические показатели, лабораторные маркеры, результаты визуализации), позволяет с высокой точностью прогнозировать "трудный желчный пузырь", вероятность конверсии доступа и длительность операции [56]. Такая предиктивная аналитика дает возможность оптимизировать операционный график, обеспечить присутствие опытных специалистов при сложных случаях и более точно информировать пациента о возможных рисках.

Тем не менее, несмотря на очевидный потенциал, внедрение ИИ в рутинную практику хирургии ЖКБ сталкивается с рядом барьеров. К ним относятся проблемы стандартизации данных, необходимость создания репрезентативных обучающих выборок, этические вопросы ответственности за принятие решений "машиной" и феномен "черного ящика" (непрозрачность алгоритмов принятия решений нейросетями) [55]. Кроме того, существует разрыв между инженерными разработками и их клинической валидацией, что требует междисциплинарного диалога между хирургами, специалистами по лучевой диагностике и инженерами-программистами [45].

Цель и задачи монографии. Настоящая монография призвана систематизировать накопленные знания о возможностях и ограничениях применения искусственного интеллекта в диагностике и лечении желчнокаменной болезни. В работе представлен всесторонний анализ эволюции методов машинного обучения в абдоминальной хирургии: от простейших алгоритмов до сложных нейросетевых архитектур [74].

Особое внимание уделено практическим аспектам:

1. **Оптимизации диагностики:** Рассматриваются алгоритмы автоматизированного распознавания патологии билиарного тракта, позволяющие снизить процент диагностических ошибок и ложноотрицательных заключений [33].
2. **Хирургической безопасности:** Анализируются новейшие системы компьютерной ассистенции, способные идентифицировать анатомические ориентиры и контролировать соблюдение критериев CVS в реальном времени, действуя как "второе мнение" или "цифровой ассистент" в операционной [60].

3. **Персонализированному подходу:** обсуждаются модели прогнозирования исходов, которые позволяют адаптировать тактику лечения под конкретного пациента, реализуя принципы прецизионной медицины.

Монография предназначена для хирургов, эндоскопистов, специалистов лучевой диагностики, организаторов здравоохранения, а также исследователей в области медицинских информационных технологий. Мы надеемся, что данный труд станет не только источником актуальной информации, но и стимулом для дальнейших исследований и внедрения интеллектуальных систем в клиническую практику, что в конечном итоге послужит главной цели — повышению безопасности пациентов и улучшению результатов лечения желчнокаменной болезни.

Глава I. Общее понятие об искусственном интеллекте (ИИ).

Искусственный интеллект (ИИ) – это комплекс компьютерных систем и программ, которые имитируют когнитивные способности человека. ИИ способен анализировать информацию, обучаться, принимать решения, распознавать речь и изображения, а также выполнять сложные интеллектуальные задачи.

История развития искусственного интеллекта.

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) прошло несколько ключевых этапов, начиная с теоретических концепций и заканчивая современными самообучающимися системами, использующими нейросетевые архитектуры.

1. Формирование концепции ИИ (до 1950-х годов).

Идея создания машин, способных имитировать человеческое мышление, восходит к древним временам. В XVIII–XIX веках механические автоматы начали использоваться для выполнения сложных операций, но лишь с развитием математики и логики возникли первые теоретические предпосылки для создания ИИ. В 1936 году Алан Тьюринг предложил концепцию универсальной вычислительной машины, способной выполнять любые вычисления, что стало основой для последующих разработок в области искусственного интеллекта.

2. Рождение термина и первые модели (1950–1960-е годы).

В 1950 году Алан Тьюринг предложил свой знаменитый "Тест Тьюринга", предназначенный для определения способности машины демонстрировать интеллектуальное поведение, сравнимое с человеческим.

В 1956 году на Дартмутской конференции Джон Маккарти впервые ввел термин "искусственный интеллект", определив его как науку и технику создания интеллектуальных машин. В этот период разрабатывались первые программы, такие как:

Logic Theorist (1955, Ньюэлл и Саймон) – первая программа, способная доказывать математические теоремы. General Problem Solver (GPS) – алгоритм, предназначенный для решения широкого спектра задач. Однако вычислительные мощности того времени ограничивали развитие технологии.

3. Золотой век ИИ и экспертные системы (1970–1980-е годы).

В этот период значительное развитие получили экспертные системы – программы, основанные на базе знаний, имитирующие мышление экспертов в определенной области. Они использовались в медицине, инженерии и финансах. Ключевые примеры: MYCIN (1974) – экспертная система для диагностики инфекционных заболеваний. XCON (1980) – система конфигурирования компьютерного оборудования.

Однако с увеличением сложности систем возникли проблемы, связанные с обработкой больших объемов данных и эффективностью алгоритмов. Это привело к временному спаду интереса к ИИ в конце 1980-х годов, известному как "зима ИИ".

4. Возрождение и машинное обучение (1990–2000-е годы).

С развитием вычислительных мощностей и увеличением объемов данных ИИ получил новое развитие. В этот период начали активно применяться методы машинного обучения (ML), основанные на обработке больших массивов данных.

Значимые достижения: 1997 – Deep Blue (IBM) победил чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова. 2000-е – развитие алгоритмов обучения с подкреплением (reinforcement learning).

5. Глубокое обучение и современные нейросети (2010-е – настоящее время).

Современный этап развития ИИ связан с внедрением глубокого обучения (Deep Learning) – многослойных нейронных сетей, позволяющих моделировать сложные нелинейные зависимости.

Ключевые достижения: 2011 – Watson (IBM) победил в интеллектуальной игре Jeopardy! 2016 – AlphaGo (DeepMind) победил чемпиона мира по игре го, продемонстрировав способность к стратегическому мышлению. 2020-е – массовое распространение генеративных моделей, таких как GPT (OpenAI) и DALL·E.

Современные исследования направлены на развитие универсального ИИ (AGI), который мог бы решать задачи на уровне человека и превосходить его в различных интеллектуальных сферах.

Создание искусственного интеллекта: основные этапы и технологии.

Создание искусственного интеллекта (ИИ) – это сложный процесс, включающий несколько ключевых этапов: сбор данных, выбор алгоритмов, обучение моделей, оптимизация и внедрение. Современные ИИ-системы основаны на различных методах машинного обучения, глубоком обучении и нейросетевых архитектурах.

1. Сбор и подготовка данных.

Любая ИИ-система требует больших объемов данных, поскольку без качественного набора данных невозможно создать точную модель. Данные могут быть различных типов: Структурированные данные – организованные в виде таблиц, баз данных, JSON/XML-форматов (например, финансовые транзакции, медицинские записи). Неструктурированные данные – изображения, текст, аудиофайлы, видео (например, медицинские снимки, речь, текстовые документы).

Процесс подготовки данных включает:

- Очистку данных – удаление шумов, дубликатов, аномалий.
- Разметку данных – ручную или с помощью вспомогательных алгоритмов (например, для классификации изображений).
- Нормализацию – приведение значений в единую шкалу.

Без качественных данных даже самый сложный алгоритм не сможет выдавать точные результаты.

2. Выбор и разработка алгоритмов.

ИИ-системы основаны на различных алгоритмах, которые можно разделить на три основные категории: Машинное обучение (Machine Learning, ML) – обучение моделей на основе существующих данных без явного программирования правил. Глубокое обучение (Deep Learning, DL) – использование многослойных нейронных сетей для анализа сложных данных. Обучение с подкреп-

лением (Reinforcement Learning, RL) – обучение через пробу и ошибки, оптимизируя действия модели.

Основные алгоритмы ИИ.

Методы классического машинного обучения: Линейная регрессия – предсказание числовых значений. Метод опорных векторов (SVM) – классификация данных. Деревья решений (Decision Trees) – построение логических правил.

Глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks): Свёрточные нейронные сети (CNN) – обработка изображений. Рекуррентные нейронные сети (RNN, LSTM) – анализ последовательностей данных (текст, речь). Генеративно-состязательные сети (GAN) – генерация новых данных.

Обучение с подкреплением: Используется для робототехники, игр, управления беспилотными системами (например, AlphaGo). Выбор алгоритма зависит от задачи: например, CNN эффективны в компьютерном зрении, а RNN – в обработке естественного языка.

3. Обучение и оптимизация модели.

После выбора алгоритма модель проходит процесс обучения:

Разделение данных: Обучающая выборка (Training Set) – 70-80% данных, используемых для обучения. Тестовая выборка (Test Set) – 10-15% данных для проверки точности модели. Валидационная выборка (Validation Set) – 5-10% данных для настройки параметров модели. Функция ошибки (Loss Function) – измеряет, насколько предсказания модели отличаются от реальных значений. Оптимизация (Optimization) – настройка весов модели с помощью методов градиентного спуска (Gradient Descent). Гиперпараметры (Hyperparameters) – количество слоев, скорость обучения, размер мини-батча.

Примеры фреймворков для обучения моделей:

- TensorFlow (Google)
- PyTorch (Meta)
- Scikit-learn (для классического ML)

Обучение модели может занимать от нескольких минут (для простых задач) до недель (для сложных нейросетей, таких как GPT или DALL·E).

4. Тестирование и валидация модели.

После обучения необходимо проверить, насколько хорошо модель работает на новых данных. Это включает: Метрики качества (Accuracy, Precision, Recall, F1-score) – используются для оценки точности. Кросс-валидация – разбиение данных на несколько частей для более точной проверки. Проверка на переобучение (Overfitting) – если модель слишком точно запомнила обучающие данные, но плохо обрабатывает новые.

Пример: если нейросеть обучена на медицинских снимках, но неправильно классифицирует редкие заболевания, это говорит о необходимости доработки модели.

5. Развертывание (Deployment) и интеграция.

После тестирования модель внедряется в реальное приложение. Возможные способы развертывания:

- В облаке (Cloud AI) – Amazon AWS, Google Cloud, Microsoft Azure.
- На мобильных устройствах – с оптимизацией под TensorFlow Lite, ONNX.
- В встраиваемых системах – использование специализированных чипов (TPU, FPGA).

Пример: голосовые ассистенты (Siri, Google Assistant) используют модели машинного обучения, развернутые в облачных сервисах.

Процесс создания искусственного интеллекта включает сбор данных, выбор алгоритмов, обучение модели, оптимизацию, тестирование и развертывание. Современные методы, такие как глубокое обучение и обучение с подкреплением, позволяют ИИ достигать высокой точности и автономности. Однако разработка ИИ требует мощных вычислительных ресурсов, больших объемов данных и тщательной проверки на ошибки.

Основные виды искусственного интеллекта (ИИ)

Современная классификация искусственного интеллекта основана на уровне его когнитивных способностей, архитектуре и методах обучения. В научной литературе ИИ делят на три основные категории:

1. Слабый (узкий) ИИ (Weak AI, Narrow AI)

2. Сильный ИИ (Strong AI, General AI, AGI)

3. Сверхразумный ИИ (Superintelligent AI, ASI)

1. Слабый (узкий) искусственный интеллект (Narrow AI, ANI).

Определение: Слабый ИИ – это системы, предназначенные для решения узкоспециализированных задач. Они могут превосходить человека в конкретных сферах (например, распознавание образов, обработка естественного языка), но не обладают универсальным интеллектом и не способны к абстрактному мышлению.

Характеристики:

- Ограниченный набор функций.
- Отсутствие понимания контекста за пределами обученных данных.
- Обучение с использованием больших объемов данных.
- Основан на алгоритмах машинного и глубокого обучения.

Примеры: Голосовые помощники (Siri, Alexa, Google Assistant), системы компьютерного зрения (распознавание лиц, автономные автомобили), медицинские диагностические системы (Watson Health), игровые алгоритмы (AlphaGo, Stockfish).

2. Сильный искусственный интеллект (General AI, AGI)

Определение: Сильный ИИ – это гипотетическая система, обладающая когнитивными способностями, сравнимыми с человеческими. Он способен к обучению, адаптации, абстрактному мышлению, решению задач без предварительного программирования и использованию опыта для принятия решений в новых ситуациях.

Характеристики:

- Универсальность: способность решать широкий спектр задач.
- Самообучение и адаптивность.
- Обладает пониманием и сознанием (по гипотезам).
- Может действовать в неизвестных условиях.

Состояние исследований: На данный момент сильный ИИ остается теоретической концепцией. Исследования ведутся в области когнитивных вычислений, нейросимвольных моделей и биологически вдохновленных архитектур мозга.

3. Сверхразумный искусственный интеллект (Superintelligent AI, ASI).

Определение: Сверхразумный ИИ – это гипотетическая система, которая значительно превосходит человеческий интеллект во всех сферах, включая творчество, научные открытия, социальные взаимодействия и стратегическое планирование.

Характеристики:

- Интеллектуальное превосходство над человеком.
- Самостоятельное развитие и самоусовершенствование.
- Потенциальные риски неконтролируемого развития.

Теоретические модели:

- Концепция "искусственного разума" (Artificial Superintelligence, ASI).
- Сценарии "сингулярности" (Ray Kurzweil).
- Экспоненциальное саморазвитие (recursive self-improvement).

Этические и философские проблемы:

Создание сверхразумного ИИ порождает вопросы безопасности, контроля и возможности выхода технологии из-под человеческого управления.

Искусственный интеллект эволюционирует от узкоспециализированных систем (Narrow AI) к потенциально универсальному (AGI) и, возможно, сверхразумному (ASI) уровню. Современные достижения в области глубокого обучения, биоинформатики и квантовых вычислений приближают человечество к созданию более сложных интеллектуальных систем, однако полное осознание принципов работы сознания и его воспроизведение в ИИ пока остается нерешенной задачей.

Применение искусственного интеллекта: основные направления и перспективы.

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) находят широкое применение в различных отраслях науки, медицины, промышленности и экономики. Использование методов машинного обучения, глубоких нейронных сетей и обработки больших данных (Big Data) позволяет автоматизировать сложные процессы, повысить точность прогнозирования и снизить человеческий фактор в принятии решений.

1. Медицина и здравоохранение. ИИ оказывает значительное влияние на диагностику, лечение и персонализированную медицину.

Компьютерное зрение в медицинской диагностике. Автоматическое распознавание патологий на рентгеновских и МРТ-снимках. Анализ гистологических препаратов для выявления онкологических заболеваний. Прогнозирование развития заболеваний на основе медицинских данных.

Персонализированное лечение и фармакология. Разработка индивидуальных схем лечения на основе генетических данных. Использование ИИ в создании новых лекарственных препаратов. Оптимизация дозировок лекарств в зависимости от состояния пациента.

Медицинские чат-боты и телемедицина. Автоматизированные системы поддержки пациентов (виртуальные ассистенты). Дистанционный мониторинг состояния здоровья. Анализ симптомов и предварительная диагностика.

Пример: система IBM Watson Health анализирует медицинские исследования и рекомендует оптимальные методы лечения.

2. Автономные системы и робототехника. ИИ используется для создания автономных машин, промышленных роботов и интеллектуальных дронов.

Беспилотные транспортные средства. Автоматическое управление автомобилями (Tesla Autopilot, Waymo). Оптимизация логистики и доставки (дроны Amazon Prime Air). Автономные роботы для складских операций.

Роботизированные хирургические системы. Прецизионные операции с минимальным вмешательством (Da Vinci). Автоматизированная ассистенция во время операций.

Промышленные роботы. Автоматизация сборочных линий на производствах (KUKA, ABB). Контроль качества продукции с использованием компьютерного зрения.

Пример: Boston Dynamics разрабатывает роботов, способных адаптироваться к сложным условиям.

3. Искусственный интеллект в науке. ИИ способствует ускорению научных открытий и решению сложных математических и биологических задач.

Обработка и анализ больших данных (Big Data). Автоматизированный анализ научных публикаций. Выявление скрытых закономерностей в данных.

Моделирование и симуляция сложных процессов. Прогнозирование климатических изменений. Симуляция молекулярных взаимодействий для разработки новых материалов.

Пример: AlphaFold (DeepMind) предсказал 3D-структуру белков, что ускорило исследования в биологии и фармакологии.

4. Финансовый сектор. ИИ активно применяется в банковской сфере, инвестициях и страховании.

Алгоритмическая торговля и анализ рынка. Высокочастотный трейдинг (HFT). Прогнозирование динамики акций на основе нейросетей.

Финансовая безопасность и предотвращение мошенничества. Выявление подозрительных транзакций с помощью машинного обучения. Распознавание аномалий в финансовых потоках.

Пример: Системы AI-анализаторов рисков в банках помогают минимизировать финансовые потери.

5. Образование и интеллектуальные системы обучения. ИИ трансформирует образовательный процесс, делая его более персонализированным.

Адаптивное обучение. Индивидуальные программы на основе прогресса студента. Автоматизированные проверочные системы.

Генерация учебных материалов. Автоматический анализ и создание текстов. Системы синхронного перевода и распознавания речи.

Пример: платформы Coursera и Duolingo используют ИИ для персонализации обучения.

6. Искусственный интеллект в повседневной жизни. ИИ стал неотъемлемой частью цифровой экосистемы, упрощая взаимодействие с технологиями. Голосовые ассистенты и чат-боты (Siri, Google Assistant, Alexa), Рекомендательные системы (Netflix, YouTube, Spotify), Умные дома (автоматизированные системы управления освещением, климатом).

Искусственный интеллект активно внедряется во все сферы жизни, повышая эффективность, точность и автоматизацию процессов. Будущее ИИ связано с развитием нейросетей, когнитивных вычислений и гибридных моделей, которые объединяют машинное обучение с традиционными алгоритмами принятия решений.

Преимущества и недостатки искусственного интеллекта (ИИ).

Искусственный интеллект (ИИ) обладает широкими возможностями, но вместе с тем его развитие сопряжено с рядом вызовов и рисков. Рассмотрим ключевые преимущества и недостатки ИИ в научно-техническом контексте.

1. Преимущества искусственного интеллекта.

1.1. Высокая скорость обработки данных

ИИ способен анализировать и обрабатывать огромные массивы данных значительно быстрее, чем человек. Это позволяет:

Использовать ИИ в системах предиктивного анализа (например, прогнозирование погоды, моделирование медицинских диагнозов).

Оптимизировать производственные процессы за счет быстрого принятия решений.

Автоматизировать обработку больших объемов информации в финансовом секторе и науке.

1.2. Автоматизация и снижение затрат на рабочую силу.

Искусственный интеллект способен выполнять повторяющиеся задачи без усталости и ошибок.

Используется в промышленных роботах, интеллектуальных чат-ботах, системах автоматизированного контроля.

Уменьшает зависимость от человеческого фактора и снижает вероятность ошибок.

1.3. Применение в критически важных областях.

ИИ внедряется в сферы, где ошибки человека могут стоить жизни:

Роботизированная хирургия (Da Vinci).

Автономные транспортные системы (Tesla Autopilot).

Системы раннего предупреждения катастроф и киберугроз.

1.4. Повышение точности и минимизация человеческого фактора.

ИИ снижает вероятность ошибок, связанных с усталостью, эмоциональным состоянием и субъективными факторами. Например:

В банковской сфере – выявление мошеннических транзакций.

В медицинской диагностике – компьютерный анализ МРТ и рентгеновских снимков.

1.5. Возможность самообучения и адаптации.

Современные нейросетевые алгоритмы способны самостоятельно обучаться на основе новых данных (машинное обучение, deep learning).

Это делает системы более гибкими и адаптивными к изменяющимся условиям.

2. Недостатки и риски искусственного интеллекта.

2.1. Ограниченность алгоритмов и зависимость от данных.

ИИ обучается на основе данных, и качество его работы зависит от их полноты и корректности.

Нейросети не всегда могут интерпретировать новые, неизвестные ситуации.

Возможность появления "предвзятости алгоритмов" (algorithmic bias), если данные содержат ошибки или стереотипы.

2.2. Отсутствие креативности и интуитивного мышления.

ИИ анализирует данные и выявляет закономерности, но не обладает абстрактным мышлением.

Машины не способны к инновационному творчеству в том виде, как это делает человек.

2.3. Проблемы безопасности и угрозы кибератак

ИИ-системы могут быть уязвимы для хакерских атак, что представляет угрозу в критических сферах (финансы, оборона, медицина).

Неправильное использование ИИ может привести к серьезным последствиям (например, автономные оружейные системы).

2.4. Потенциальное вытеснение рабочих мест.

Автоматизация может привести к сокращению рабочих мест в различных отраслях.

Это требует адаптации рынка труда и переобучения специалистов.

2.5. Этические и правовые проблемы.

Кто несет ответственность за ошибки ИИ (например, при сбое автопилота)?

Возможность злоупотребления ИИ (например, в системах массового наблюдения, deepfake).

Вопросы приватности данных и конфиденциальности.

Искусственный интеллект является мощным инструментом, который трансформирует экономику, медицину, науку и повседневную жизнь. Однако его развитие требует строгого контроля, этических стандартов и механизмов регулирования. Сбалансированное использование ИИ позволит минимизировать риски и раскрыть его максимальный потенциал.

Будущее искусственного интеллекта (ИИ): Перспективы и вызовы.

Будущее искусственного интеллекта (ИИ) предполагает значительные преобразования в различных областях жизни и науки. Однако, с развитием ИИ возникают как уникальные возможности, так и риски, которые необходимо учитывать для безопасного и этичного применения технологий. Рассмотрим основные направления и тенденции в развитии ИИ.

1. Эволюция технологий ИИ.

1.1. Развитие сильного ИИ (AGI).

Одной из долгосрочных целей ИИ является создание сильного искусственного интеллекта (AGI) — системы, которая сможет выполнять любую интеллектуальную задачу, доступную человеку. На данный момент ИИ ограничен узкими задачами, такими как анализ данных и распознавание образов. В будущем усилия будут направлены на создание универсального ИИ, способного решать более сложные и многоаспектные задачи, включая абстрактное мышление и принятие решений в условиях неопределенности.

Перспективы:

Сильный ИИ способен интегрировать знания из разных областей и адаптироваться к новым условиям.

Применение в сфере образования, науки, медицины и других областях, требующих комплексного подхода.

Вызовы:

Технические трудности, связанные с моделированием когнитивных процессов человека.

Этические проблемы, такие как контроль над ИИ и безопасность его действий.

1.2. Прогнозирование и предсказания.

С развитием методов машинного обучения и обработки больших данных ИИ будет все более эффективно прогнозировать различные события, включая экономические изменения, природные катастрофы и социальные процессы. Модели ИИ будут использовать исторические данные и создавать прогнозы для принятия более обоснованных решений.

Перспективы: Улучшение точности предсказаний в области медицины, финансов и экологии. Реализация более эффективных систем раннего предупреждения.

Вызовы: Риск неверных прогнозов, вызванных недостаточными или искажёнными данными. Проблемы с интерпретируемостью предсказаний (black box).

2. Интеграция ИИ в повседневную жизнь.

2.1. Умные города и инфраструктура.

ИИ будет играть ключевую роль в развитии умных городов, где будут использоваться интеллектуальные системы для управления энергоснабжением, транспортом, безопасностью и другими аспектами городской жизни. Автономные транспортные средства, системы мониторинга здоровья населения и интеллектуальные системы управления энергией сделают города более устойчивыми и удобными для жителей.

Перспективы: Умные транспортные системы и автономные автомобили помогут снизить количество аварий и улучшить качество жизни в городе. Оптимизация энергопотребления с помощью ИИ позволит значительно снизить затраты и минимизировать углеродный след.

Вызовы: Проблемы безопасности и конфиденциальности данных в умных городах. Необходимость в адаптации законодательных норм для контроля за использованием технологий.

2.2. Применение ИИ в личных устройствах.

ИИ продолжит развиваться в рамках персональных устройств — смартфонов, носимых устройств, умных ассистентов. Эти устройства смогут глубже понять предпочтения и поведение пользователя, предлагая более персонализированные услуги, включая рекомендации, здоровье и развлечения.

Перспективы:

Создание интеллектуальных ассистентов, способных выполнять более сложные задачи, такие как управление домом, мониторинг здоровья и организация времени.

Развитие носимых технологий, которые будут отслеживать состояние здоровья и автоматически предоставлять рекомендации для улучшения качества жизни.

Вызовы:

Проблемы с приватностью данных пользователей и их безопасностью.

Повышение зависимости от технологий и снижение личной автономии.

3. Этические и социальные вопросы.

3.1. Этические нормы и регулирование ИИ.

Одной из ключевых задач в будущем является разработка и внедрение этических стандартов и регулирования в области ИИ. Вопросы контроля над ИИ, его автономией, ответственностью за ошибки, а также влияние ИИ на общественные и экономические процессы будут находиться в центре внимания.

Перспективы:

Создание международных стандартов и правовых норм для регулирования использования ИИ.

Обеспечение этичного и безопасного использования ИИ в ключевых отраслях, таких как медицина, армия, правоохранительные органы.

Вызовы:

Проблемы с регулированием ИИ на глобальном уровне из-за различий в законодательных системах.

Вопросы о том, кто будет нести ответственность за действия ИИ (например, в случае аварий или принятия решений, ведущих к вреду).

3.2. Влияние на трудовой рынок.

Широкое внедрение ИИ приведет к значительным изменениям в трудовой сфере. Многие профессии могут исчезнуть, а новые профессии потребуют от работников новых навыков и знаний. Одновременно с этим, ИИ будет способен создавать высококвалифицированные рабочие места в областях, связанных с разработкой и обслуживанием ИИ-систем.

Перспективы:

Создание новых рабочих мест в области разработки ИИ, аналитики данных и интеграции технологий в различные сферы.

Увеличение производительности труда и снижение затрат на труд в некоторых отраслях.

Вызовы:

Массовая автоматизация может привести к потере рабочих мест, особенно в сфере низкоквалифицированного труда.

Переобучение и переподготовка работников для новых профессий требуют значительных усилий и инвестиций.

Будущее искусственного интеллекта несет огромный потенциал для революционных изменений в разных сферах жизни. Однако для того, чтобы извлечь максимальную выгоду от ИИ, необходимо продумать соответствующие этические, социальные и правовые нормы. Интеграция ИИ в повседневную жизнь, создание новых технологий и интеллектуальных систем будут иметь долгосрочные последствия для человечества, что требует внимательного и взвешенного подхода.

Глава II. Современные направления применения искусственного интеллекта в малоинвазивной хирургии желчнокаменной болезни (обзор литературы)

Введение. Холелитиаз (желчнокаменная болезнь) остается одной из наиболее распространенных патологий гепатобилиарной системы, с глобальной распространенностью 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 [17].

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[9;15;38].

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 [17;18].

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 [13].

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 [17;18;27;58].

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 [3;9;16;64].

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 [3;9;17;38;64].

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[13;16;17;64].

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[13;17].

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[17;18;27].

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 оператив-

ного 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[19;44;51;77].

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[19;44;71;77].

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[40;51].

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[29;40;51].

Пациенты с факторами риска должны быть информированы о возможности конверсии, а хирургическая тактика требует индивидуального подхода с учётом прогностических моделей и оценки сложности вмешательства[44;71;77].

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[11;23;48;72].

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[17;36].

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[17;20].

Таким образом, современные ИИ-инструменты позволяют объективно оценивать факторы, влияющие на конверсию при лапароскопической холецистэктомии, и обладают потенциалом для интеграции в рутинную хирургиче-

скую практику[11;17;20;22;23;36;48;54;72]. 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[13;15;16;17;18].

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[13;15].

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[13;18;27].

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[13;69].

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 [13;15;16;17;27].

Глава III. Анатомо-физиологические аспекты гепатобиллиарной системы

Желчный пузырь и желчь

Желчный пузырь — это внутрибрюшинный орган эндодермального происхождения, расположенный каудально от печени. Он подразделяется на дно, тело, часто выделяемую воронку (инфундибулум) и шейку. Кровоснабжение желчного пузыря осуществляется пузырной артерией — ветвью правой печёночной артерии; венозный отток происходит через пузырную вену в печёночные синусоиды. Иннервация включает симпатические волокна из чревного сплетения, парасимпатические волокна из блуждающего нерва и чувствительные волокна, представленные ветвями диафрагмального нерва.

Основной функцией желчного пузыря является накопление желчи. Желчь синтезируется печенью и играет ключевую роль в пищеварении, нейтрализации желудочной кислоты, всасывании жиров, а также в выведении билирубина и холестерина. Желчевыводящие пути, подразделяющиеся на внутripечёночные и внепечёночные, обеспечивают транспорт желчи в кишечник. Желчные каналы относятся к внутripечёночным желчным протокам и, соединяясь, образуют правый и левый печёночные протоки, которые осуществляют отток желчи из печени. К внепечёночным желчным путям относятся пузырный проток и общий печёночный проток, которые, соединяясь, формируют общий желчный проток. Общий желчный проток соединяется с протоком поджелудочной железы и открывается в печёночно-поджелудочную ампулу двенадцатиперстной кишки.

Избыточное насыщение желчи холестерином или билирубином приводит к образованию желчных камней. Заболевания желчевыводящих путей включают холецистит, первичный склерозирующий холангит, билиарную атрезию и ряд других патологических состояний.

Желчный пузырь. Желчный пузырь представляет собой полый орган грушевидной (пириформной) формы, расположенный на пузырной пластинке (ложе желчного пузыря) под сегментами IVB и V печени. Пузырная пластинка

— это фиброареолярная ткань, которая фиксирует верхнюю поверхность желчного пузыря к печени.

Анатомия. Внепечёночное желчное дерево.

Правый и левый печёночные протоки соединяются с образованием общего печёночного протока. Пузырный проток впадает в общий печёночный проток, формируя общий желчный проток. Главный проток поджелудочной железы впадает в общий желчный проток. Общий желчный проток открывается в нисходящую часть двенадцатиперстной кишки.

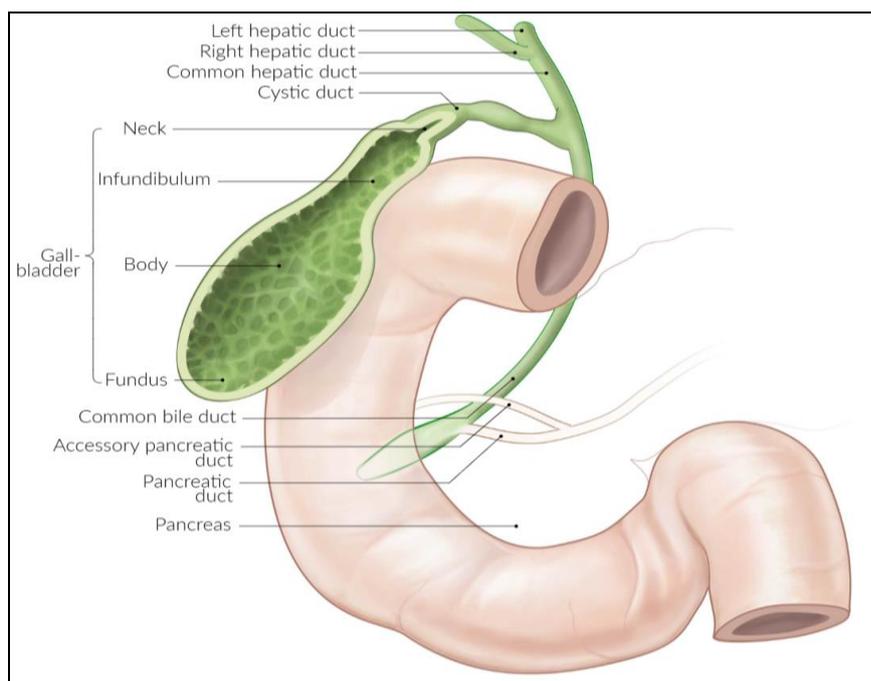


Рис.3.1. Общая схема. Fig. 3.1. General scheme.

Анатомо-функциональная характеристика желчного пузыря

Желчный пузырь представляет собой внутрибрюшинный полый орган, входящий в состав внепечёночных желчевыводящих путей и выполняющий ключевую роль в накоплении и концентрации желчи. В нормальных условиях он располагается на висцеральной поверхности печени, в области пузырьной ямки, между сегментами IVB и V по классификации Couinaud.

Размеры и объём. Средняя длина желчного пузыря составляет от 7 до 10 см, ширина — около 2,5 см в наиболее расширенной части. Объём органа в физиологических условиях колеблется в пределах 30–35 мл. При обструкции пу-

зырного протока возможно значительное увеличение вместимости желчного пузыря — вплоть до 250–300 мл, что имеет важное клиническое значение при диагностике обтурационных заболеваний билиарной системы.

Анатомическое строение. В анатомическом отношении в желчном пузыре выделяют дно, тело, инфундибулум и шейку. Инфундибулум представляет собой переходный участок между телом и шейкой и характеризуется постепенным сужением просвета. В ряде анатомических и клинических источников инфундибулум рассматривается как часть шейки желчного пузыря. Важно отметить, что в некоторых публикациях данный отдел ошибочно отождествляется с карманом Хартмана, что не соответствует современным анатомическим представлениям.

Шейка желчного пузыря продолжается в пузырьный проток, который, соединяясь с общим печёночным протоком, образует общий желчный проток. В области перехода тела в шейку может определяться карман Хартмана — локальное мешковидное расширение вентральной поверхности желчного пузыря, проксимальнее его шейки. Данная структура является наиболее частым местом импакции желчных конкрементов. Ранее карман Хартмана рассматривался как патологическое образование, однако в настоящее время он трактуется как анатомический вариант нормы, имеющий клиническое значение преимущественно при желчнокаменной болезни.

Функциональная роль. Основной функцией желчного пузыря является депонирование желчи, синтезируемой гепатоцитами и поступающей из печени по внутрипечёночным и внепечёночным желчным протокам. Под влиянием холецистокинина, секретлируемого энтероэндокринными клетками слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки в ответ на поступление жиров, происходит сокращение желчного пузыря и выброс концентрированной желчи через пузырьный проток во вторую часть двенадцатиперстной кишки.

Дополнительной важной функцией органа является концентрация желчи, которая осуществляется за счёт активного всасывания воды и электролитов слизистой оболочкой желчного пузыря.

Кровоснабжение и венозный отток. Артериальное кровоснабжение желчного пузыря осуществляется пузырной артерией, являющейся, как правило, ветвью правой печёночной артерии. Венозный отток имеет сегментарные особенности: в области шейки кровь оттекает по пузырным венам в систему воротной вены, тогда как венозная кровь от тела и дна желчного пузыря дренируется непосредственно в печёночные синусоиды.

Иннервация. Иннервация желчного пузыря осуществляется за счёт симпатических волокон чревного сплетения и парасимпатических волокон, представленных печёночной ветвью блуждающего нерва. Чувствительная иннервация обеспечивается волокнами диафрагмального нерва. Клинически это проявляется феноменом отражённой боли в правой плечевой области при воспалительных заболеваниях желчного пузыря, в частности при холецистите, что обусловлено общностью сегментарной иннервации (С3–С5) диафрагмы и плечевого пояса.

Микроскопическое строение. Стенка желчного пузыря имеет многослойное строение, Рис.3. 2. По нижней поверхности орган покрыт серозной оболочкой, тогда как на верхней, прилежащей к печени, располагается адвентиция. Подсерозно располагается мышечная оболочка (*muscularis externa*), представленная пучками гладкомышечных клеток. Слизистая оболочка включает собственную пластинку (*lamina propria*) и выстлана однослойным цилиндрическим эпителием с выраженными микроворсинками, что обеспечивает активные процессы реабсорбции. Эпителиальные клетки секретируют муцин, играющий защитную роль и участвующий в формировании коллоидных свойств желчи.

Гистологическое исследование стенки желчного пузыря (окраска гематоксилин-эозином, увеличение $\times 25$) позволяет чётко дифференцировать основные тканевые слои органа. Стенка желчного пузыря характеризуется отсутствием подслизистого слоя, что отличает её от большинства других отделов желудочно-кишечного тракта и определяет особенности моторной функции органа.

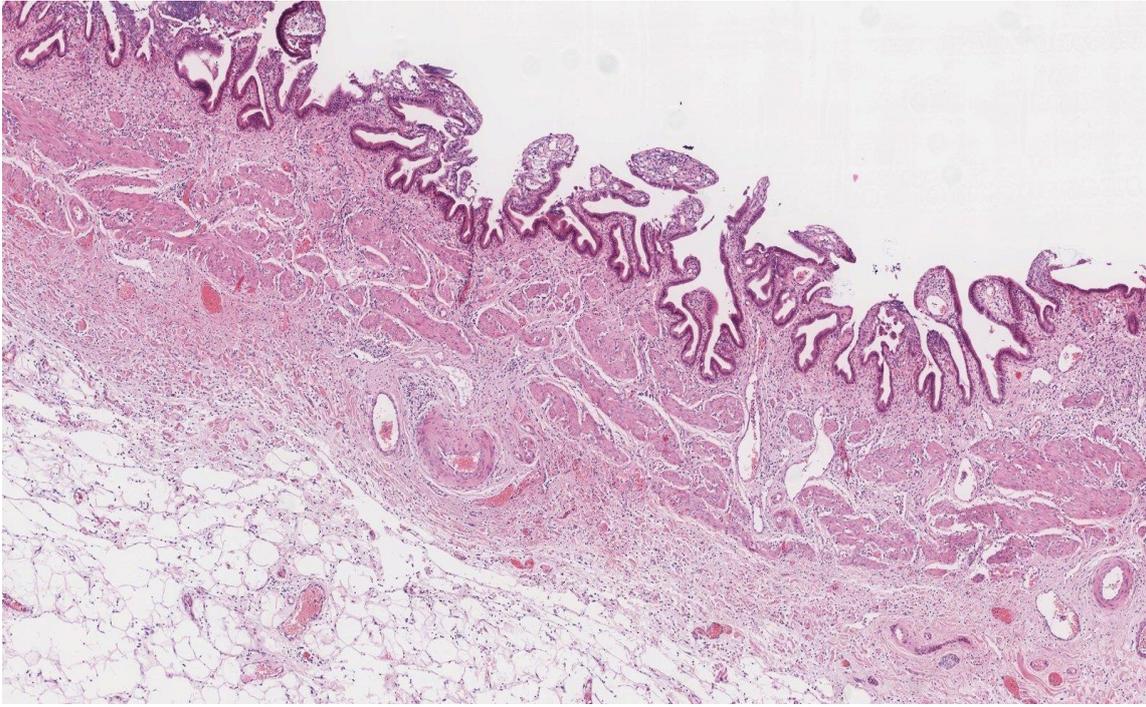


Рис.3.2. Микроскопическое строение стенки желчного пузыря. Fig. 3.2. Microscopic structure of the gallbladder wall.

Снаружи внутрь (и от поверхности к просвету) в стенке желчного пузыря выделяют следующие слои:

Слизистая оболочка (mucosa) — интенсивно окрашивается в тёмно-фиолетовый цвет и формирует многочисленные складки, значительно увеличивающие площадь всасывающей поверхности.

Собственная пластинка слизистой оболочки (lamina propria) — представлена рыхлой соединительной тканью с развитой сосудистой сетью и элементами иммунной защиты; при гистологическом окрашивании имеет фиолетовый оттенок.

Мышечная оболочка (tunica muscularis) — окрашивается в розовый цвет и состоит из неупорядоченно расположенных пучков гладкомышечных клеток, обеспечивающих сокращение желчного пузыря и эвакуацию желчи.

Подсерозный слой (tunica subserosa) — представлен рыхлой соединительной тканью и визуализируется как пятнисто окрашенная розово-белая структура; данный слой располагается на поверхности желчного пузыря, обращённой в брюшную полость. На стороне, прилежащей к печени, серозная обо-

лочка отсутствует, и вместо неё стенка покрыта **адвентицией**, обеспечивающей фиксацию органа к печёночной паренхиме.

Желчевыводящие пути.

Анатомическое строение. Желчевыводящая система (илиарный тракт) представляет собой разветвлённую сеть протоков, обеспечивающих транспорт желчи от гепатоцитов в просвет двенадцатиперстной кишки. В анатомическом отношении билиарное дерево подразделяется на внутripечёночные и внепечёночные желчные протоки.

Внутripечёночные желчные протоки. Начальным звеном желчевыводящей системы являются желчные канальцы, располагающиеся между гепатоцитами. Последовательно они переходят во внутripечёночные желчные протоки — дуктулы (каналы Геринга), затем в сегментарные и секторальные протоки.

Правый печёночный проток формируется в результате слияния:

- **правого заднего протока (right posterior duct, RPD)**, осуществляющего дренаж сегментов VI и VII печени;
- **правого переднего протока (right anterior duct, RAD)**, отводящего желчь от сегментов V и VIII.

Желчные протоки сегментов II–IV соединяются с образованием **левого печёночного протока (left hepatic duct, LHD)**.

Слияние правого и левого печёночных протоков приводит к формированию **общего печёночного протока (common hepatic duct, CHD)**, который относится уже к внепечёночному отделу билиарной системы.

Внепечёночные желчные протоки

Общий желчный проток (common bile duct, CBD) образуется при соединении общего печёночного протока с пузырным протоком, Рис.2.3.. Он проходит в свободном крае малого сальника, в составе печёочно-двенадцатиперстной связки, располагаясь кзади от двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы.

На дистальном уровне общий желчный проток соединяется с главным протоком поджелудочной железы и открывается в просвет двенадцатиперстной кишки через печёчно-поджелудочную ампулу (ампулу Фатера), играющую ключевую роль в регуляции поступления желчи и панкреатического секрета в кишечник.

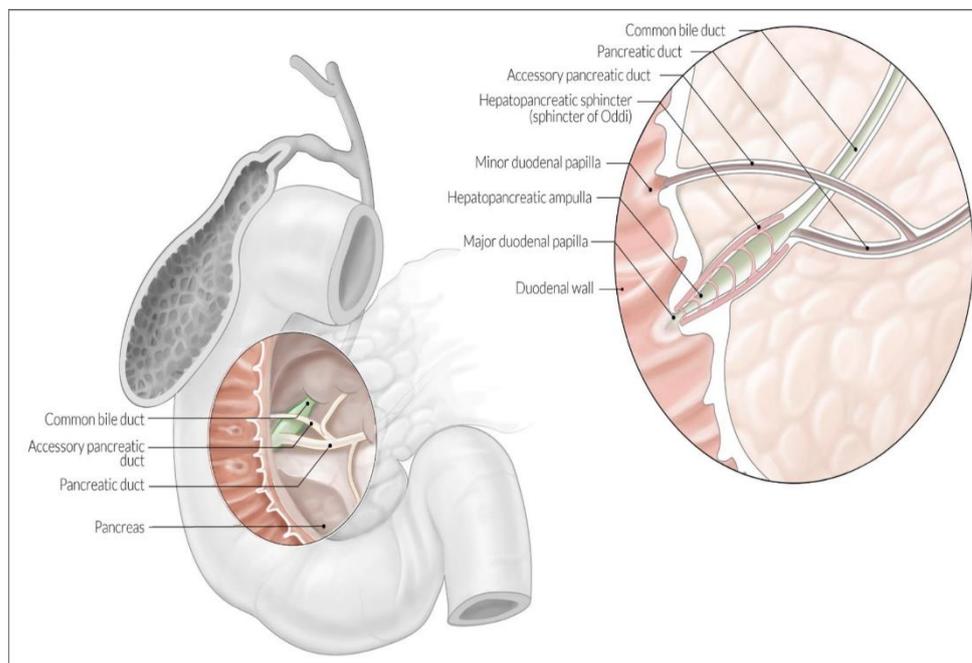


Рис.3.3. Схема: Общий желчный проток (common bile duct, CBD). Fig. 3.3. Diagram: Common bile duct (CBD).

Гепатобилиарные анатомические ориентиры

В клинической анатомии желчевыводящей системы особое значение имеют анатомические треугольники, используемые в хирургической практике, прежде всего при выполнении холецистэктомии.

Гепатобилиарный треугольник представляет собой анатомическое пространство, ограниченное общим печёчным протоком медиально, пузырным протоком латерально и нижним краем печени сверху. В пределах данного треугольника располагаются пузырная артерия и пузырный лимфатический узел (узел Лунда). Тщательная идентификация гепатобилиарного треугольника во время оперативного вмешательства является обязательным условием безопасного выполнения холецистэктомии, поскольку повреждение элементов внепеченочной желчевыводящей системы может привести к тяжелым осложнениям.

чѐночных желчных протоков или пузырьной артерии может привести к тяжѐлым послеоперационным осложнениям.

Треугольник Калота — анатомическое пространство, образованное общим печѐчным протоком, пузырным протоком и пузырьной артерией. Несмотря на схожесть терминологии, он отличается от гепатобилиарного треугольника по своим границам и имеет самостоятельное значение в хирургической анатомии.

Неотъемлемым элементом топографической анатомии печени и билиарной системы является **портальная триада**, включающая печѐчную артерию, воротную вену и общий желчный проток, которые проходят совместно в составе печѐчно-двенадцатиперстной связки.

Желчь: Состав и биохимическая характеристика

Желчь представляет собой биологически активный секрет, синтезируемый в печени и накапливаемый в желчном пузыре. Она играет ключевую роль в процессах пищеварения, нейтрализации кислого желудочного содержимого, всасывания жиров и жирорастворимых витаминов, а также в экскреции билирубина и холестерина.

В состав желчи входят следующие основные компоненты:

Жѐлчные пигменты, прежде всего билирубин — жѐлтый пигмент, образующийся в результате катаболизма гемоглобина. Билирубин является липофильным (неконъюгированным) метаболитом, который в печени подвергается конъюгации с глюкуроновой кислотой, превращаясь в водорастворимую форму. В кровотоке билирубин транспортируется в комплексе с белками-переносчиками. Другим жѐлчным пигментом является биливердин — зелёный продукт распада гемоглобина, являющийся промежуточным метаболитом.

Жѐлчные кислоты подразделяются на первичные и вторичные. К первичным жѐлчным кислотам относятся холевая и хенодезоксихолевая кислоты, которые синтезируются в печени из холестерина. Ключевым, лимитирующим этапом этого процесса является реакция, катализируемая ферментом хо-

лестерин-7 α -гидроксилазой. Первичные жёлчные кислоты накапливаются в желчном пузыре и выделяются в кишечник в составе желчи.

Вторичные жёлчные кислоты, такие как дезоксихолевая и литохолевая, образуются в просвете кишечника под действием бактериальной флоры. Жёлчные кислоты в печени конъюгируются с глицином или таурином, образуя жёлчные соли, которые обладают высокой водорастворимостью и выраженными детергентными свойствами.

Кроме того, желчь содержит фосфолипиды, холестерин, воду и неорганические ионы. Дефицит жёлчных кислот приводит к нарушению всасывания жиров и способствует образованию холестериновых конкрементов в желчном пузыре.

Функции желчи. Желчь выполняет ряд жизненно важных физиологических функций. Она обеспечивает эмульгирование и всасывание липидов, включая жирорастворимые витамины (А, D, Е и К), участвует в экскреции билирубина и холестерина, являясь основным путём выведения холестерина из организма. Дополнительно желчь обладает антимикробным действием, нарушая целостность мембран микроорганизмов, а также служит транспортной средой для секреторного иммуноглобулина А (IgA).

Энтерогепатическая циркуляция. Важнейшим физиологическим механизмом поддержания гомеостаза жёлчных кислот и билирубина является энтерогепатическая циркуляция Рис.3.4. Вещества, метаболизированные в печени, экскретируются с желчью в кишечник, после чего подвергаются частичному обратному всасыванию.

Около 95 % жёлчных кислот после поступления в просвет кишечника реабсорбируются, преимущественно в проксимальном и дистальном отделах подвздошной кишки, и по системе воротной вены возвращаются в печень для повторного использования. В кишечнике первичные жёлчные кислоты частично преобразуются бактериями во вторичные.

Билирубин в основном выводится из организма с калом в виде стеркобилина (около 80 %). Оставшиеся 20 % вступают в энтерогепатическую циркуля-

цию, при этом приблизительно 90 % повторно утилизируются в печени, а около 10 % экскретируются почками.

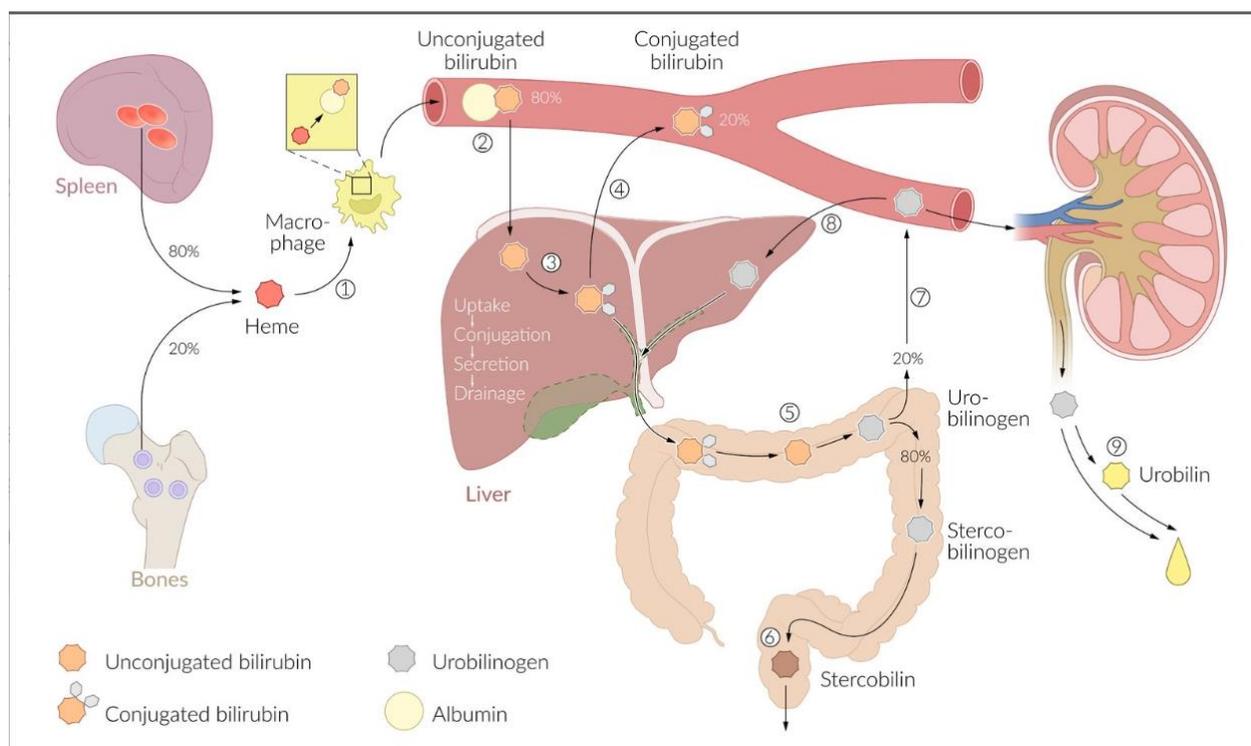


Рис.3.4. Метаболизм билирубина. Fig. 3.4. Bilirubin metabolism.

Метаболизм билирубина представляет собой многоэтапный физиологический процесс, включающий распад гемоглобина, печёночную конъюгацию и последующую экскрецию через кишечник и почки.

Первоначально гемоглобин подвергается распаду преимущественно в селезёнке и, в меньшей степени, в костном мозге, с образованием гема и глобина. Глобиновая часть расщепляется до аминокислот, тогда как гем метаболизируется макрофагами с образованием неконъюгированного (непрямого) билирубина.

Неконъюгированный билирубин является липофильным соединением и транспортируется в кровотоке в комплексе с альбумином. В таком виде он поступает в печень, где захватывается гепатоцитами. Внутри гепатоцитов билирубин подвергается конъюгации с глюкуроновой кислотой под действием УДФ-глюкуронилтрансферазы, в результате чего образуется водорастворимый конъюгированный (прямой) билирубин.

Конъюгированный билирубин секретируется в состав желчи и поступает в желчные каналы. На данном этапе небольшое количество конъюгированного билирубина может обнаруживаться в крови, что имеет диагностическое значение при заболеваниях печени и желчевыводящих путей.

С желчью билирубин поступает в просвет кишечника, где под действием кишечной микрофлоры превращается в уробилиноген. Основная часть уробилиногена окисляется до стеркобилиногена, а затем до стеркобилина, который выводится с калом и придаёт ему характерную коричневую окраску.

Меньшая часть уробилиногена подвергается обратному всасыванию в кишечнике. Большая доля реабсорбированного уробилиногена возвращается в печень посредством энтерогепатической циркуляции, тогда как оставшаяся часть фильтруется в почках. В моче уробилиноген окисляется до уробилина, который обуславливает её характерный жёлтый цвет.

Желчные камни. Желчные камни (холелитиаз) представляют собой твёрдые конкременты, формирующиеся в желчном пузыре и/или желчных протоках. В зависимости от химического состава и патогенеза различают несколько основных типов желчных камней, Рис.3.5.

Наиболее распространёнными являются **холестериновые камни**, составляющие около 80 % всех случаев холелитиаза. Они преимущественно состоят из холестерина с примесью карбоната кальция. В рентгенологическом исследовании холестериновые камни, как правило, являются рентгенонегативными, однако менее чем в 20 % случаев могут содержать кальцифицированные участки, что делает их частично рентгенопозитивными.

Пигментные камни подразделяются на чёрные и коричневые. Чёрные пигментные камни являются рентгенопозитивными и чаще всего ассоциируются с хроническими гемолитическими заболеваниями, такими как серповидноклеточная анемия и наследственный сфероцитоз. Основным компонентом этих камней является билирубинат кальция. Коричневые пигментные камни, напротив, рентгенонегативны и преимущественно связаны с инфекционными процессами в желчевыводящих путях. Их формирование обусловлено бак-

териальной β -глюкуронидазной активностью и чаще наблюдается в внепечёночных желчных протоках.

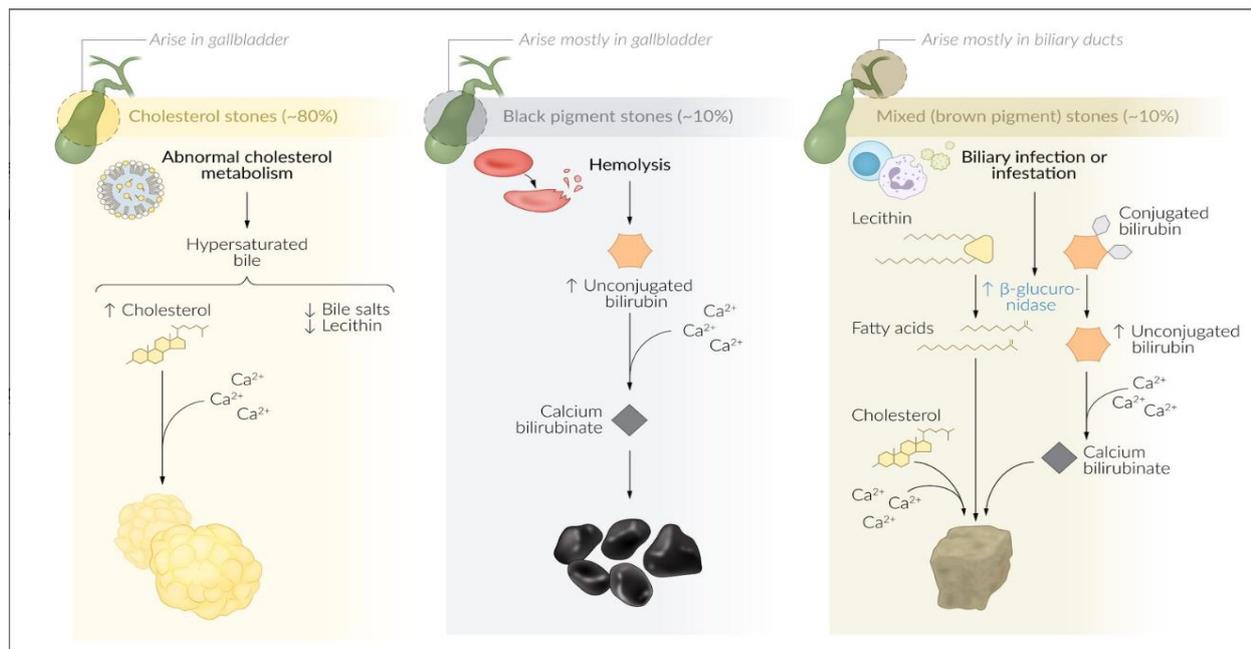


Рис.3.5. Патофизиология различных типов желчных камней. Fig. 3.5. Pathophysiology of different types of gallstones.

Формирование желчных камней является многофакторным патологическим процессом, зависящим от состава желчи, моторной функции желчного пузыря и состояния билиарного тракта.

Холестериновые камни образуются исключительно в полости желчного пузыря. Их развитие связано с перенасыщением желчи холестерином, снижением концентрации жёлчных кислот и фосфолипидов, а также с нарушением моторики желчного пузыря и застоем желчи. Несмотря на то что холестериновые камни формируются в желчном пузыре, они могут мигрировать в пузырный проток и общий желчный проток, вызывая обструкцию, билиарный стаз и развитие осложнений, таких как холецистит, холангит и механическая желтуха.

Пигментные желчные камни содержат различное количество билирубината кальция и могут формироваться в любом отделе билиарного дерева. В зависимости от клиничко-патогенетических особенностей выделяют чёрные и коричневые пигментные камни. Чёрные пигментные камни преимущественно образуются в желчном пузыре и ассоциированы с повышенным гемолизом, как,

например, при серповидноклеточной анемии и других хронических гемолитических состояниях. Их формирование обусловлено повышенной экскрецией неконъюгированного билирубина с желчью. Коричневые пигментные камни, напротив, чаще формируются в воспалённых участках желчных протоков и тесно связаны с бактериальными или паразитарными инфекциями. Бактериальная β -глюкуронидазная активность приводит к деконъюгации билирубина, что способствует образованию нерастворимых солей билирубина кальция.

Эмбриология желчного пузыря и желчевыводящих путей

Желчный пузырь и желчевыводящие пути имеют энтодермальное происхождение. Их развитие начинается на 4-й неделе эмбрионального периода. Исходной структурой является печёночный дивертикул (печёночная почка), который формируется из вентральной стенки первичной кишки. Из печёночного дивертикула развивается общий желчный проток, который по мере роста эмбриона суживается и устанавливает связь со средней кишкой. Желчный пузырь и пузырный проток формируются из вентрального выроста общего желчного протока. Нарушения этих эмбриональных процессов могут приводить к врождённым аномалиям билиарной системы, включая билиарную атрезию и кисты желчных протоков.

Клиническое значение

Заболевания билиарного тракта. Патология желчевыводящей системы включает широкий спектр воспалительных, обструктивных, дегенеративных и неопластических заболеваний, среди которых наиболее клинически значимыми являются:

- первичный склерозирующий холангит;
- первичный билиарный холангит;
- восходящий холангит;
- холедохолитиаз;
- острый и хронический холецистит;
- «фарфоровый» желчный пузырь;
- билиарная колика;

- желчнокаменная болезнь;
- полипы желчного пузыря;
- холангиокарцинома;
- синдром Мирицци;
- билиарная атрезия;
- кисты желчных протоков (холедохальные кисты);
- болезнь Кароли;

• холестероз желчного пузыря — состояние, характеризующееся отложением холестерина в макрофагах слизистой оболочки, что приводит к жёлтой пятнистой окраске слизистой вследствие избытка холестерина в желчи.

Заболевания, связанные с нарушением метаболизма желчи. Нарушения состава и циркуляции желчи лежат в основе следующих патологических состояний:

- неонатальная желтуха;
- болезнь Крона;
- первичная диарея, обусловленная жёлчными кислотами;
- синдром избыточного бактериального роста в тонкой кишке;
- внутрипечёночный холестаз беременных;
- целиакия;
- хронический панкреатит;
- синдром Жильбера;
- синдром Криглера–Найяра;
- синдром Дубина–Джонсона;
- синдром Ротора;
- первичная мальабсорбция жёлчных кислот.

Заболевания кишечника. К заболеваниям кишечника, оказывающим существенное влияние на энтерогепатическую циркуляцию жёлчных кислот, относятся: синдром короткой кишки; болезнь Крона.

Глава IV. Мультимодальная ультразвуковая диагностика холелитиаза: от rocus и стратификации рисков до внедрения искусственного интеллекта

Введение. Ультразвуковое исследование (УЗИ) остается основным методом первичной визуализации у пациентов с болями в правом подреберье и подозрением на патологию желчного пузыря. Согласно современным рекомендациям, УЗИ является методом выбора благодаря своей неинвазивности и доступности, в то время как компьютерная томография (КТ) и МРТ чаще используются для решения сложных диагностических задач или оценки холестатических проявлений [37].

Мета-анализ, проведенный Wu et al. (2024), подтвердил высокую эффективность Point-of-Care ультразвука (POCUS) в диагностике холелитиаза. Обобщенная чувствительность метода при выявлении конкрементов (холелитиаза) составила 0,94 (95% ДИ: 0,91–0,96), а специфичность — 0,93. Однако для диагностики острого холецистита чувствительность POCUS оказалась несколько ниже — 0,73, при сохранении высокой специфичности (0,93) [76]. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к интерпретации данных.

Диагностика калькулезного холецистита сопряжена с определенными трудностями, так как ультразвуковые признаки заболевания могут меняться во времени. Ivanov et al. (2025) в своем когортном исследовании показали, что вторичные признаки ОХ, такие как утолщение стенки желчного пузыря (GWC), являются динамическим процессом. У значительной части пациентов (19,4%), не имевших утолщения стенки при первичном осмотре, эти изменения развивались в среднем через 4 часа, что коррелировало с наличием конкрементов и положительным симптомом Мерфи [31]. Для повышения точности диагностики Patel et al. (2025) предложили алгоритм стратификации риска, объединяющий клинические параметры (возраст, лейкоцитоз) и ультразвуковые данные (толщина стенки, наличие жидкости, кровотока в печеночной артерии). Данный подход позволяет классифицировать пациентов по четырем категориям вероятности ОХ, исключая неопределенные заключения [57].

Важным аспектом диагностики является дифференциация острого холецистита от других патологий, таких как полипы или аденомиоматоз [62, 32]. Современные методы, включая контрастно-усиленное ультразвуковое исследование (CEUS) и микропотоковую визуализацию, позволяют детально оценивать васкуляризацию образований [5]. Li et al. (2025) продемонстрировали, что CEUS эффективно дифференцирует холестериновые полипы от аденом, что критически важно для выбора тактики лечения и предотвращения необоснованных холецистэктомий [41]. Кроме того, перфузионные методики УЗИ без контрастирования помогают лучше выявлять аномальное усиление стенки желчного пузыря при воспалении [53].

Роль искусственного интеллекта в диагностике патологии гепатобилиарной системы. В последние годы наблюдается активная интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) в медицинскую визуализацию. Ультразвуковая диагностика, в отличие от КТ или МРТ, является оператор-зависимым методом, что создает предпосылки для использования ИИ с целью снижения вариабельности результатов и повышения стандартизации заключений [24].

Систематический обзор Cai и Pfoh (2025) показал, что большинство современных разработок ИИ в абдоминальном ультразвуке основаны на методах глубокого обучения (65%), при этом значительная часть исследований посвящена гепатобилиарной системе [8].

Применительно к патологии желчного пузыря, Choi et al. (2025) исследовали эффективность моделей глубокого обучения (таких как Attention U-Net и DUCK Net) для анализа видеоряда эндосонографии. ИИ показал высокую точность (до 0,957) в классификации неопластических и не неопластических полипов, превосходя возможности субъективной оценки оператором [14]. Такие технологии открывают перспективы для автоматизированного выявления патологий, включая сложные случаи калькулезного холецистита и его осложнений. Тем не менее, несмотря на многообещающие результаты, большинство исследований остаются ретроспективными и одноцентровыми, что требует проведе-

ния проспективных валидационных испытаний для широкого внедрения ИИ в клиническую практику хирургии и гастроэнтерологии [4, 8].

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: Осуществление комплексной оценки потенциала систем искусственного интеллекта в синергии с ультразвуковыми методами визуализации для точной диагностики холелитиаза.

Материалы и методы. В исследование были включены 242 пациента, перенёвших 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 сопровождалась 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 соответствии с принципами, предложенными в работах;

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

Видеообработка проводилась в постоперационном режиме на вычислительной платформе с поддержкой GPU-ускорения. Для каждой операции фор-

мировались временные метки фаз, автоматически определялись ключевые структуры (пузырный проток, пузырная артерия, треугольник Кало, борозда Рувьера и др.) и проводилась оценка соответствия CVS. Достоверность 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 и обсуждение. Приводим конкретные результаты ультразвуковых исследований в комбинации с системами искусственного интеллекта для точной диагностики холелитиаза.

На рис.4.1, приводится сканограмма нормы желчного пузыря.

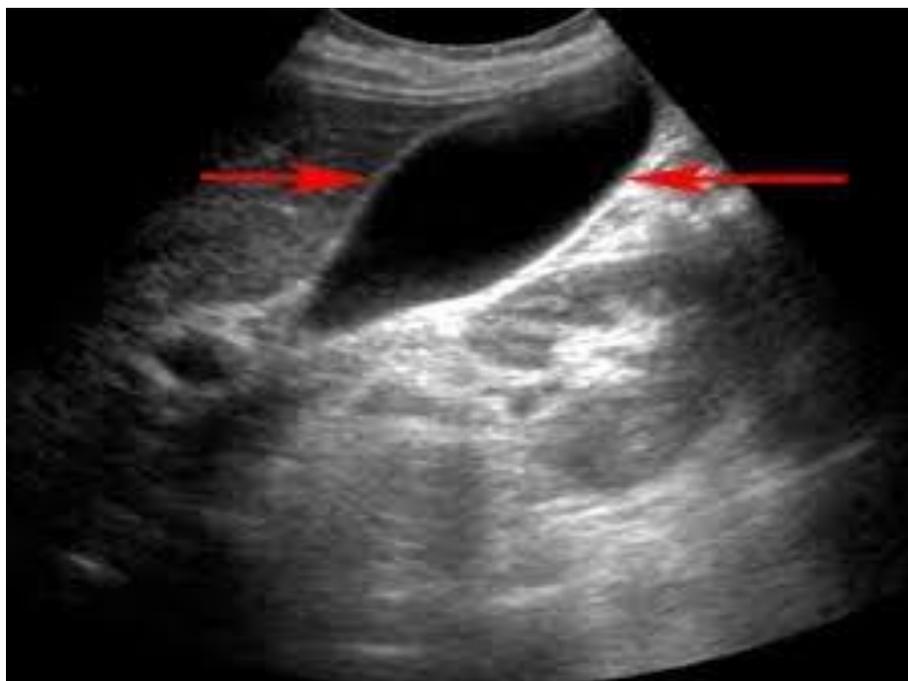


Рис.4.1. Сканограмма нормы желчного пузыря. Fig. 4.1. Scanogram of the normal gallbladder.

Результаты анализа ультразвукового изображения с применением искусственного интеллекта. Проведён анализ ультразвукового изображения органов билиарной системы с использованием алгоритмов искусственного интеллекта, с фокусом на область желчного пузыря. На представленном

изображении визуализируется удлинённая анэхогенная структура, анатомически соответствующая проекции желчного пузыря. Контуров стенок органа чётко очерчены и обозначены маркерами (красные стрелки).

Стенки желчного пузыря визуализируются как тонкие, ровные и однородные по всей протяжённости, без признаков утолщения, деформации или инфилтративных изменений. Просвет желчного пузыря полностью анэхогенен, что свидетельствует о наличии однородного жидкостного содержимого, соответствующего желчи. Внутрипросветные эхосигналы отсутствуют, что позволяет исключить наличие конкрементов, билиарного сладжа либо внутрипросветных объемных образований.

Акустическая тень за какими-либо структурами в просвете желчного пузыря не определяется, что дополнительно подтверждает отсутствие кальцифицированных конкрементов. Признаков перихолецистической жидкости также не выявлено, что свидетельствует об отсутствии ультразвуковых признаков воспалительного процесса.

Интерпретация и потенциальные находки. С учётом выявленных ультразвуковых характеристик — анэхогенного просвета, тонких и ровных стенок, отсутствия внутрипросветных включений и перихолецистической жидкости — представленное изображение в целом соответствует нормальному, физиологически наполненному желчному пузырю. Ультразвуковые признаки холелитиаза, билиарного сладжа и острого холецистита (утолщение стенок, наличие перихолецистической жидкости) не обнаружены.

На рис.4.2. представлен вариант УЗИ-картины холелитиаза.

Описание ультразвукового изображения и результаты анализа. Представленное изображение является ультразвуковым сканированием верхнего отдела брюшной полости с фокусом на область желчного пузыря. Исследование выполнено в монохромном режиме. В зоне, обозначенной красным кругом, визуализируется структура, морфологически и анатомически соответствующая желчному пузырю.



Рис.4.2. Вариант УЗИ-картины холелитиаза. Fig. 4.2. A variant of ultrasound image of cholelithiasis.

Просвет желчного пузыря преимущественно анэхогенный, что соответствует наличию однородного жидкостного содержимого — желчи. Вместе с тем, внутри просвета определяется чётко очерченное гиперэхогенное образование. Указанное образование сопровождается выраженной дистальной акустической тенью, что является характерным ультразвуковым признаком кальцифицированных структур.

Стенки желчного пузыря, в пределах доступной визуализации, выглядят тонкими, ровными и однородными, без признаков утолщения или деформации. В данной проекции не выявлено признаков перихолецистической жидкости, что может свидетельствовать об отсутствии выраженного воспалительного процесса на момент исследования.

Интерпретация и потенциальные находки. С учётом выявленных ультразвуковых характеристик — наличия гиперэхогенного образования с выраженной дистальной акустической тенью в просвете желчного пузыря — наиболее вероятной диагностической находкой является холелитиаз (желчнокаменная болезнь), обусловленный присутствием конкремента в полости желчного пузыря.

Классический вариант УЗИ-картины холелитиаза представлено на рис.4.3.



Рис.4.3. Классический вариант УЗИ-картины холелитиаза. Fig. 4.3. Classic ultrasound image of cholelithiasis.

Заключение, основанное на анализе ультразвукового изображения с применением искусственного интеллекта. Представленное изображение является ультразвуковым сканированием (ультрасонограммой) органов брюшной полости. В области исследования присутствует маркер «LIVER RT», указывающий на визуализацию правой доли печени, в проекции которой определяется желчный пузырь.

Желчный пузырь представлен анэхогенной, грушевидной структурой, анатомически соответствующей его просвету. Внутри полости желчного пузыря визуализируется чётко отграниченное, выражено гиперэхогенное образование, сопровождающееся формированием интенсивной дистальной акустической тени. Указанная особенность отмечена стрелкой, указывающей непосредственно на конкремент и ассоциированную с ним акустическую тень. Стенка желчного пузыря в представленном ультразвуковом ракурсе не демонстрирует признаков утолщения; однако детальная оценка её толщины и структурных характеристик ограничена ввиду анализа одного статического изображения.

Интерпретация и потенциальные находки. Наличие гиперэхогенного образования с чётко выраженной дистальной акустической тенью в просвете желчного пузыря является классическим ультразвуковым признаком холелитиаза (желчнокаменной болезни), что свидетельствует о присутствии желчного конкремента.

Сканограмма хронического калькулезного холецистита представлено на рис.4.4.

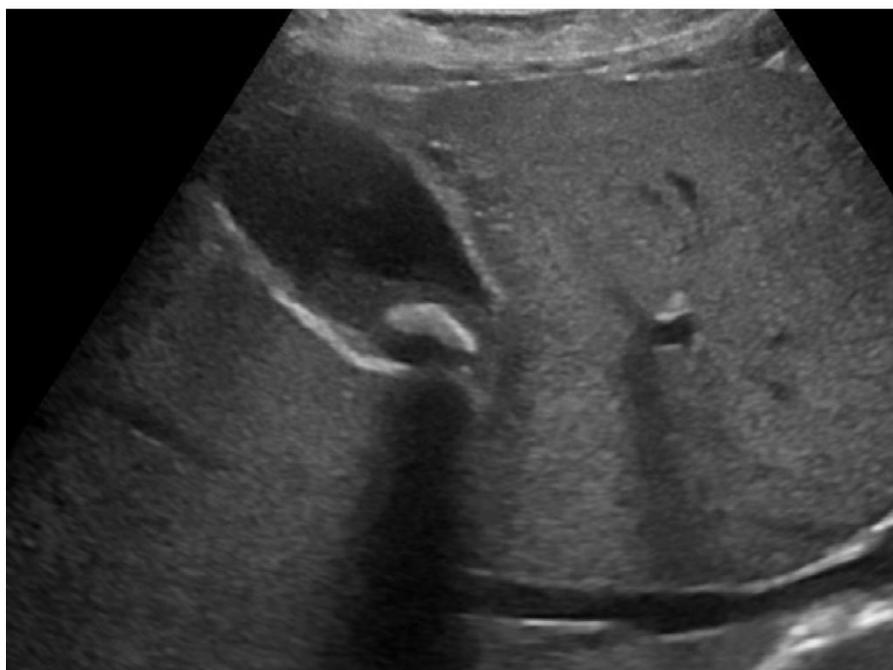


Рис.4.4 Сканограмма хронического калькулезного холецистита Fig. 4.4
Scanogram of chronic calculous cholecystitis

Анализ ультразвукового медицинского изображения с применением технологий искусственного интеллекта. На представленном ультразвуковом изображении визуализируется желчный пузырь, который определяется как анэхогенная (гипоэхогенная) структура, что является типичным ультразвуковым признаком органа, заполненного жидкостным содержимым. В просвете желчного пузыря выявляется одиночное, чётко контурированное, выражено гиперэхогенное образование.

Указанное образование сопровождается формированием отчётливой дистальной акустической тени, что является характерным ультразвуковым признаком кальцифицированных структур. Стенка желчного пузыря в пределах до-

ступной визуализации выглядит тонкой, ровной и однородной, без признаков утолщения или структурных изменений. Окружающая паренхима печени характеризуется относительно гомогенной эхоструктурой, без очевидных очаговых или диффузных изменений в данной проекции.

Интерпретация и потенциальные находки. Выявление выражено гиперэхогенного образования с дистальной акустической тенью в просвете желчного пузыря является классическим ультразвуковым признаком наличия конкремента и указывает на холелитиаз (желчнокаменную болезнь). Отсутствие утолщения стенки желчного пузыря, как правило, не соответствует ультразвуковым критериям острого холецистита; однако для окончательной оценки клинической значимости выявленных изменений требуется клиничко-лабораторная корреляция и, при необходимости, динамическое ультразвуковое наблюдение.

Интересный случай представлен на рис.4.5.



Рис.4.5. Состояние после холецистэктомии. Холедохолитиаз. Fig. 4.5. Condition after cholecystectomy. Choledocholithiasis.

Анализ ультразвукового исследования органов брюшной полости с применением искусственного интеллекта. Представленное изображение является ультразвуковым сканом органов брюшной полости, выполненным в серошкальном режиме. В центральной части изображения визуализируется анато-

мическая структура с гипоэхогенным или анэхогенным содержимым, морфологически соответствующая зоне билиарной системы. Стенка данной структуры, предположительно представляющая ложе желчного пузыря, выглядит умеренно утолщённой; однако отсутствие количественных измерений ограничивает возможность объективной оценки данного признака. Окружающие паренхиматозные ткани демонстрируют эхогенность, характерную для печёночной паренхимы, без явных очаговых или диффузных изменений в представленной проекции.

Интерпретация и потенциальные находки. На основании выявленных ультразвуковых характеристик возможно предположить состояние после холецистэктомии. Визуализация множественных выражено гиперэхогенных включений с формированием дистальной акустической тени в просвете холедоха является высокоспецифичным ультразвуковым признаком холедохолитиаза. Стрелкой на изображении обозначены предполагаемые конкременты общего желчного протока.

Ограничения и отказ от ответственности. Необходимо отметить, что настоящий анализ представленных УЗИ-сканограмм, выполнен с использованием алгоритмов искусственного интеллекта и основан исключительно на визуальных данных, представленных на одном ультразвуковом изображении. Полученная информация не является медицинским диагнозом и не может использоваться в качестве такового. Для постановки точного диагноза, определения тактики лечения и клинической интерпретации выявленных изменений необходима консультация квалифицированного врача-специалиста с учётом клинических, лабораторных и дополнительных инструментальных данных.

Обсуждение. Результаты нашего исследования коррелируют с мировыми тенденциями развития «умной» хирургии. Данные Wu et al. (2024) и Ivanov et al. (2025) подчеркивают важность POCUS как первичного звена, однако именно внедрение ИИ позволяет перевести этот метод из категории «ориентировочного» в категорию «высокоточного». В отличие от классических методов стратификации рисков (Patel et al., 2025), предложенный нами комплексный подход на

базе платформы «МедСкан AI» обеспечивает интраоперационную навигацию в режиме реального времени. Это особенно критично при атипичной анатомии или выраженном инфильтративном процессе, когда визуализация борозды Рувьера и треугольника Кало затруднена. Несмотря на достигнутые показатели точности, остается актуальным вопрос валидации алгоритмов на больших гетерогенных выборках. Тем не менее, соответствие данного исследования государственной стратегии развития технологий ИИ в Республике Узбекистан до 2030 года подчеркивает его фундаментальную и прикладную значимость для отечественного здравоохранения.

Заключение.

Мультимодальная интеграция ИИ в ультразвуковую диагностику холелитиаза обеспечивает диагностическую точность свыше 90%, минимизируя субъективность интерпретации данных.

Использование нейросетевых моделей архитектуры YOLO позволяет автоматизировать процесс идентификации критических анатомических структур, что повышает безопасность лапароскопических вмешательств.

Алгоритмическая оценка критериев CVS является эффективным инструментом поддержки принятия врачебных решений, позволяя стандартизировать хирургическую технику и снизить операционные риски.

Глава V. Возможности применения ИИ - технологий в эндохирургии холелитиаза

Введение. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) занимает одно из ведущих мест в структуре мировой гастроэнтерологической заболеваемости. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), патология диагностирована 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% [21;66]. Основной причиной данных осложнений является ошибочная идентификация анатомических структур, обусловленная воспалительно-рубцовыми изменениями или аномалиями развития [12]. Согласно международным клиническим рекомендациям, интраоперационная верификация желчевыводящих путей является обязательным этапом вмешательства [2;7]. 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. [11] подтвердило эффективность ИИ (91,05%) даже в условиях вариабельности рабочего процесса. Платформа

EndoDigest [46;47] 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 [72]. Клиническая валидация систем, таких как SES [13] и моделей на базе YOLOv3 [68], подтвердила их надежность в улучшении ситуационной осведомленности хирургической бригады. Кроме того, ИИ обеспечивает автоматизированную оценку CVS в реальном времени с высокой точностью (0,971) [35] и позволяет сегментировать гепатоцистную зону [23]. Прогностические возможности ИИ, включая определение степени воспаления по шкале Паркланда [72] и прогнозирование сложности операции (AUC 0,923) [48], 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 сопровождалась 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;

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

5. Оценка достижения критериев Critical View of Safety (CVS) в соответствии с принципами, предложенными в работах;

6. 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 ключевые структуры (пузырный проток, пузырная артерия, треугольник Кало, борозда Рувьера и др.) и проводилась оценка соответствия CVS. Достоверность 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.

Таблица 1.

Демографические и клинические характеристики пациентов (n=242)

| 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 (ассигасу) 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 Дайса (DICE) при сегментации гепатоцистной зоны валидационной выборки составил $0,87 \pm 0,04$. В 56 (26,4%) случаях вывод модели повлиял на хирургическую разметку; 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 $61,4 \pm 18,9$ 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 $0,12 \pm 0,03$ с на кадр при пакетной (post-hoc) обработке и $\sim 0,17 \pm 0,05$ с при потоковой оценке, что позволило достигнуть примерно 5–8 fps в режиме реального времени на оборудовании.

довании 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 ($\approx 90,3\%$) и снижение точности в сложных случаях ($82,4\%$) коррелируют с результатами Golany et al. [23] и Cheng et al. [11], подтверждая, что алгоритмы хорошо работают при стандартных сценариях, но требуют дополнительного обучения на гетерогенных данных для повышения устойчивости в сложных ситуациях. Высокая mAP ($\approx 96,2\%$) и высокий DICE при сегментации согласуются с данными Corallino et al. [17] и клиническими испытаниями SES [50], 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 ($\approx 90,6\%$), 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. [35] и Mascagni et al. [47], 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 те-

стирование в мультицентровом формате и оценку влияния на клинические исходы.

Выводы. Интеграция методов искусственного интеллекта в эндовидеохирургию 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.

Глава VI. Персонализированное предоперационное планирование лапародоступа в эндохирургии холецистолитиаза с использованием искусственного интеллекта и 3d-моделирования

Введение. Эндовидеолапароскопическая хирургия является «золотым стандартом» лечения многих заболеваний органов брюшной полости, в том числе и желчнокаменной болезни. Однако этап обеспечения доступа (введение первого троакара и создание пневмоперитонеума) остается одним из наиболее опасных моментов операции. По данным литературы, более 50% всех осложнений лапароскопии (повреждение магистральных сосудов, перфорация кишечника) приходится именно на момент введения первого троакара [1]. Кроме того, несмотря на минимальную инвазивность, сохраняется риск ятрогенного повреждения внепеченочных желчных протоков, частота которого составляет 0,08–1,5% [21;66]. Основной причиной данных осложнений является ошибочная идентификация анатомических структур, обусловленная воспалительно-рубцовыми изменениями или аномалиями развития [12]. Согласно международным клиническим рекомендациям, интраоперационная верификация желчевыводящих путей является обязательным этапом вмешательства [2;7].

На наш взгляд, эффективность операции зависит от правильной геометрии расположения инструментов — триангуляции. Неправильно выбранные точки доступа приводят к «конфликту инструментов» (фехтованию), быстрой утомляемости хирурга и увеличению времени операции. Традиционный подход, основанный на внешних костных ориентирах, не учитывает индивидуальную анатомию, особенно у пациентов с морбидным ожирением или после ранее перенесенных операций (спаечный процесс).

Таким образом, разработка вариантов эндовидеолапародоступа в хирургии холелитиаза, направленное на повышение качественной характеристики и оперативной эффективности, не утратило своего значения, и различные грани данной проблемы носят дискуссионный характер. Кроме того прогрессивное развитие медицинской науки в связи с внедрением новых высокотехнологических

направлений, в частности искусственного интеллекта, требует дополнительных исследований для оценки данной проблемы с новых позиций.

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: Разработка архитектуры программного обеспечения на базе искусственного интеллекта (ИИ) для анализа МРТ-снимков, создания 3D-модели брюшной полости и автоматического расчета оптимальных точек лапароскопического доступа.

Материалы и методы. Для реализации поставленных задач в период 2022–2025 гг. проводилось комплексное обследование 176 пациентов. Визуализация гепатобилиарной зоны осуществлялась на 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 трансверсальных 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, обеспечивающую высокую скорость инференса нейросетевых моделей.

I. Архитектура системы. Разрабатываемое программное обеспечение (ПО) состоит из четырех функциональных блоков:

1. **Блок ввода данных:** Прием медицинских изображений в формате DICOM (MPT/КТ).
2. **Блок сегментации (AI Core):** Использование сверточных нейронных сетей (CNN) для распознавания кожи, подкожно-жировой клетчатки, мышечного апоневроза, паренхиматозных органов и крупных сосудов (аорта, нижняя полая вена).
3. **Блок физического моделирования:** Симуляция деформации мягких тканей при наложении пневмоперитонеума (введении газа CO₂). Использован метод конечных элементов (FEM) для прогнозирования того, как поднимется брюшная стенка при давлении 12–15 мм рт. ст.
4. **Блок навигации и визуализации:** Расчет оптимальных геометрических параметров.

II. Алгоритм выбора точек доступа. Система анализирует поверхность брюшной стенки по двум критериям:

- **Критерий безопасности:** Проекция виртуального вектора введения троакара. Если вектор пересекает магистральный сосуд или петлю кишечника на глубине менее 3 см от брюшины, зона маркируется как «опасная».
- **Критерий эргономики:** Расчет углов между оптической осью (камерой) и рабочими инструментами. Целевое значение азимутального угла — 60–90°.

Результаты. В ходе разработки прототипа была создана модель виртуальной среды «Digital Twin» (Цифровой двойник) пациента.

1. Визуализация зон доступа. Программа генерирует 3D-карту передней брюшной стенки с цветовой кодировкой (система «Светофор»):

- **Красная зона (Red Zone):** Абсолютное противопоказание для введения троакара (проекция аорты, спаечный конгломерат, мочевого пузыря).

- **Желтая зона (Yellow Zone):** Условно безопасная зона, требующая осторожности (близость к костным структурам, неудобный угол атаки).
- **Зеленая зона (Green Zone):** Оптимальная зона, обеспечивающая безопасность и эргономичный доступ к целевому органу (например, к желчному пузырю).

2. Коррекция на пневмоперитонеум. Одной из ключевых особенностей системы является учет изменения анатомии при инсуффляции газа. Стандартные МРТ-снимки делаются при расслабленном животе. Наш алгоритм моделирует куполообразное поднятие брюшной стенки, что позволяет хирургу видеть точку входа не в покое, а в реальном рабочем положении (при давлении 12–14 мм рт. ст.).

3. Интерфейс пользователя. Разработан макет интерфейса, позволяющий хирургу менять параметры (тип телосложения пациента, планируемое внутрибрюшное давление) и получать координаты точек доступа в режиме реального времени.

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.

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

Как видно из представленных данных, в 108 случаях (61,4%) ИИ выявил срединное расположение желчного пузыря. 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.

Таблица 1.

Характер позиционных вариантов желчного пузыря (верификация MedScan AI).

| 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).

При вертикальной позиции (рис. 6.1) 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 составляет менее 30° (острый угол). Заключение ИИ: Зоны действия инструментов перекрываются (эффект «sword fighting»). Риск ятрогенного повреждения повышен. Рекомендуется смещение Тр.2 латерально на 3-4 см.

При срединной позиции (рис. 6.2) моделирование показало наилучшие результаты. Анализ MedScan AI: Векторы инструментов образуют угол 60-90°. Зоны соприкосновения минимальны.

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

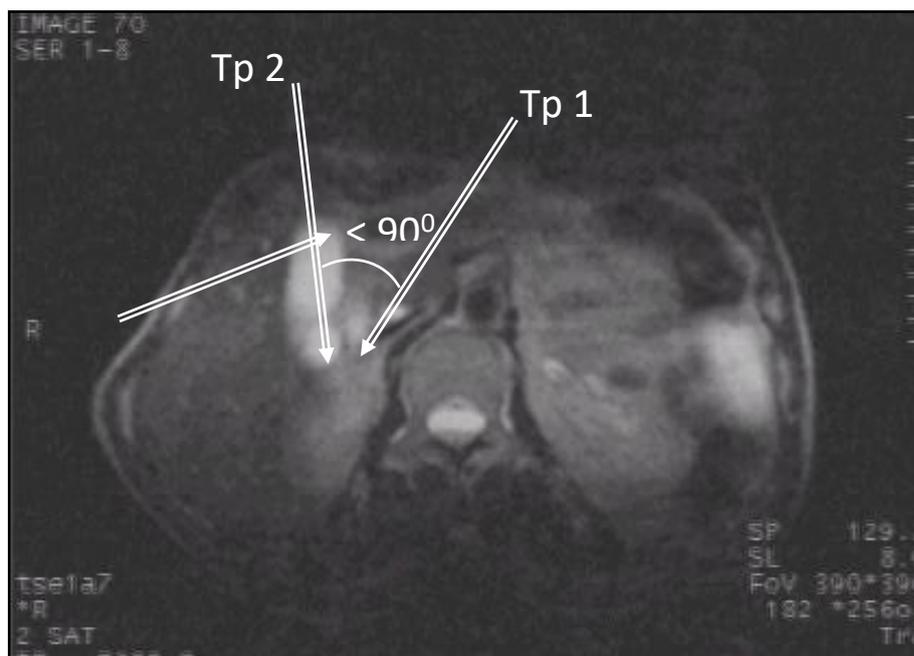


Рис. 6.1. Стандартное расположение троакаров при вертикальном стандарте. Fig. 6.1. Standard trocar placement with vertical standard

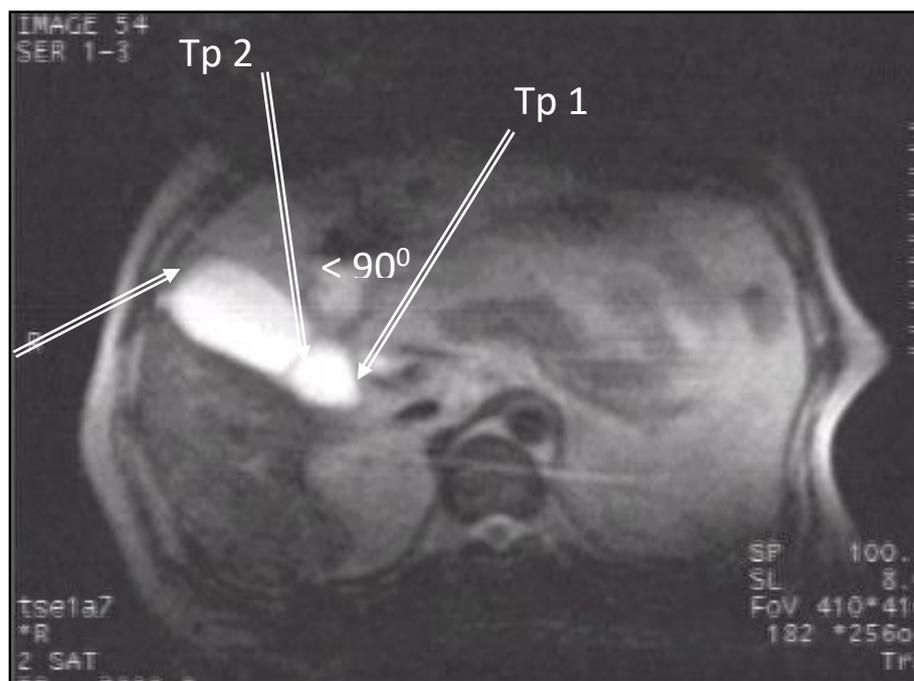


Рис. 6.2. Стандартное расположение троакаров при срединной позиции. Fig. 6.2. Standard trocar placement in the midline position

При горизонтальной позиции (рис. 6.3) система выявила специфические ограничения.

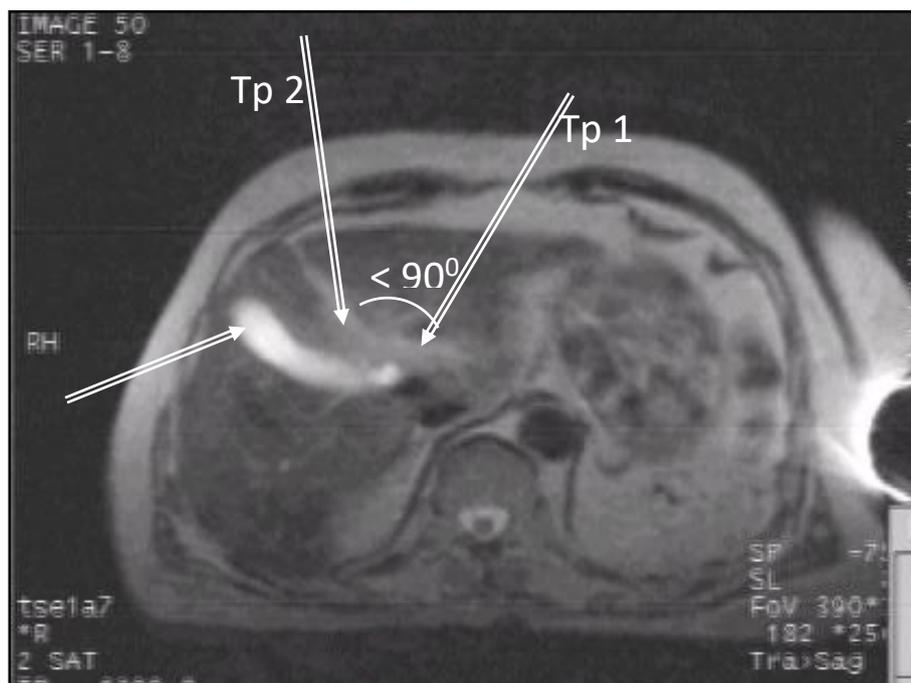


Рис. 6.3. Стандартная установка троакаров при горизонтальной позиции.

Fig. 6.3. Standard installation of trocars in a horizontal position.

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.

Обсуждение. Существующие методы навигации в абдоминальной хирургии чаще всего ограничиваются интраоперационным УЗИ или статической КТ-картиной. Предлагаемый подход отличается тем, что он является предиктивным (предсказывающим).

Основная сложность реализации заключается в высокой вариабельности смещения органов при надувании живота газом. Однако использование методов математического моделирования (FEM) позволяет с высокой точностью (погрешность <5 мм) предсказать положение брюшной стенки.

Для пациентов с ожирением, у которых пальпация костных ориентиров (подвздошная ость, мечевидный отросток) затруднена, данная система может стать единственным надежным способом планирования операции, исключая метод «слепого» введения иглы Вереша.

Заключение. Разработанная концепция программного обеспечения для планирования лапароскопического доступа на основе ИИ и МРТ-данных является перспективным направлением в цифровой хирургии.

Внедрение ИИ-навигации на предоперационном этапе позволит снизить риск ятрогенных повреждений сосудов и органов при установке рабочих портов, а также улучшить эргономику хирургического вмешательства.

Система решает две фундаментальные задачи:

1. **Повышение безопасности:** Визуализация скрытых угроз (сосудов, спаек) до начала операции.
2. **Стандартизация техники:** Помощь начинающим хирургам в выборе идеальных точек для манипуляций.

Дальнейшие исследования будут направлены на валидацию алгоритма на реальных клинических случаях и интеграцию системы с очками дополненной реальности (AR) для использования непосредственно в операционной.

Глава VII. Конверсия в эндовидеохирургии холецистолитиаза: современный взгляд на проблему выбора доступа.

Введение. На современном этапе развития абдоминальной хирургии эндовидеолапароскопическая холецистэктомия (ЛХЭ) де-факто признана «золотым стандартом» лечения желчнокаменной болезни (ЖКБ), характеризующаяся минимальной инвазивностью и быстрой реабилитацией пациентов [29;44]. Однако, несмотря на значительный технологический прогресс, риск серьезных интраоперационных осложнений, в частности повреждений магистральных желчевыводящих путей, остается актуальной проблемой, достигая 1,5% в специализированных центрах [7;77]. Основными этиологическими факторами ятрогений являются аномалии анатомического строения и выраженные рубцово-инфильтративные изменения в зоне треугольника Кало, затрудняющие адекватную идентификацию структур [12;71]. Согласно международным консенсусным рекомендациям, при возникновении технических сложностей, угрожающих безопасности пациента, переход к открытому доступу (конверсия) должен рассматриваться не как тактическое поражение хирурга, а как зрелое стратегическое решение [19;51]. По данным литературы, частота конверсий варьирует от 1,5% до 12,2%, резко возрастая до 27% при остром деструктивном процессе [2;44]. Тем не менее, в современной литературе недостаточно освещен вопрос выбора конкретного метода конверсии — традиционной лапаротомии или мини-доступа, что определяет научную новизну данного исследования.

Цель исследования. Провести сравнительный анализ и научно обосновать эффективность применения оригинальной методики минилапаротомии как метода конверсии при выполнении лапароскопической холецистэктомии для снижения операционной травмы и улучшения клинических исходов.

Материал и методы. Проведено ретроспективное когортное исследование результатов хирургического лечения 328 пациентов с различными формами ЖКБ, прооперированных в период с 2022 по 2024 гг.

Дизайн исследования: Клинический анализ охватывал демографические данные, данные ультразвуковой сонографии (УЗС) и мультиспиральной

компьютерной томографии (МСКТ) при наличии сложных инфильтратов. Среди обследованных пациентов преобладали лица женского пола — 272 (82,9%), мужчин — 56 (17,1%). Средний возраст составил $47 \pm 3,5$ года. Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Statistica 10.0, уровень значимости составил $p < 0,05$.

Техника операции: В случаях необходимости конверсии ($n=10$) применялась оригинальная методика минилапаротомии (Патент №05079 ПВ РУз). Под эндотрахеальным наркозом выполнялся разрез длиной до 5 см параллельно реберной дуге и на 4 см ниже неё (Рис. 7.1).

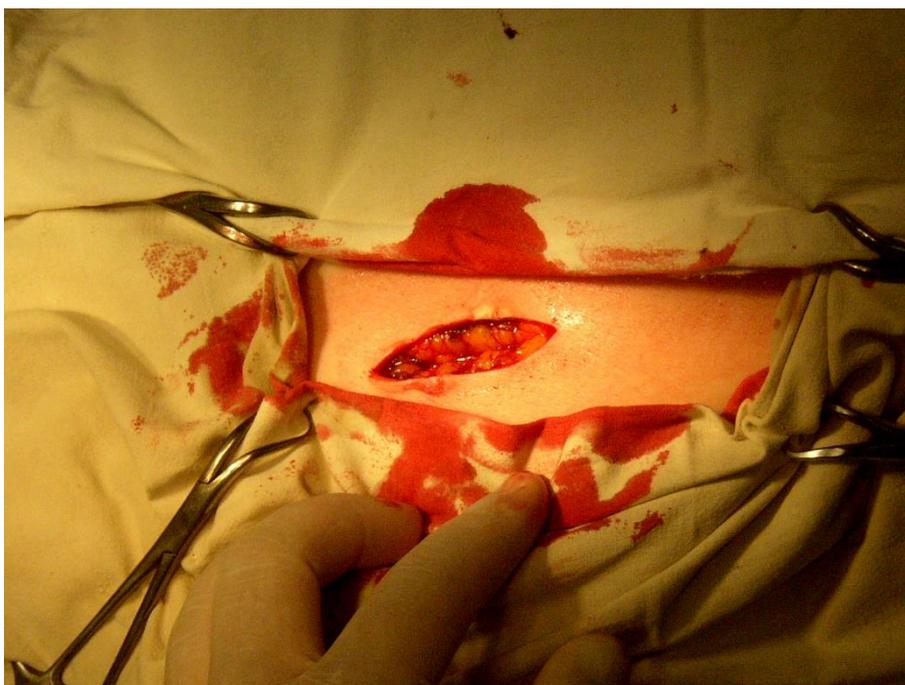


Рис.7.1. Разрез при минилапаротомии. Fig. 7.1. Minilaparotomy incision.

Особенностью метода являлось медиальное смещение прямой мышцы живота с помощью крючков Фарабефа, что обеспечивало широкий обзор при минимальной длине разреза. После рассечения заднего листка влагалища прямой мышцы и брюшины (Рис. 7.2), формировалось операци-онное пространство с использованием печеночных зеркал.

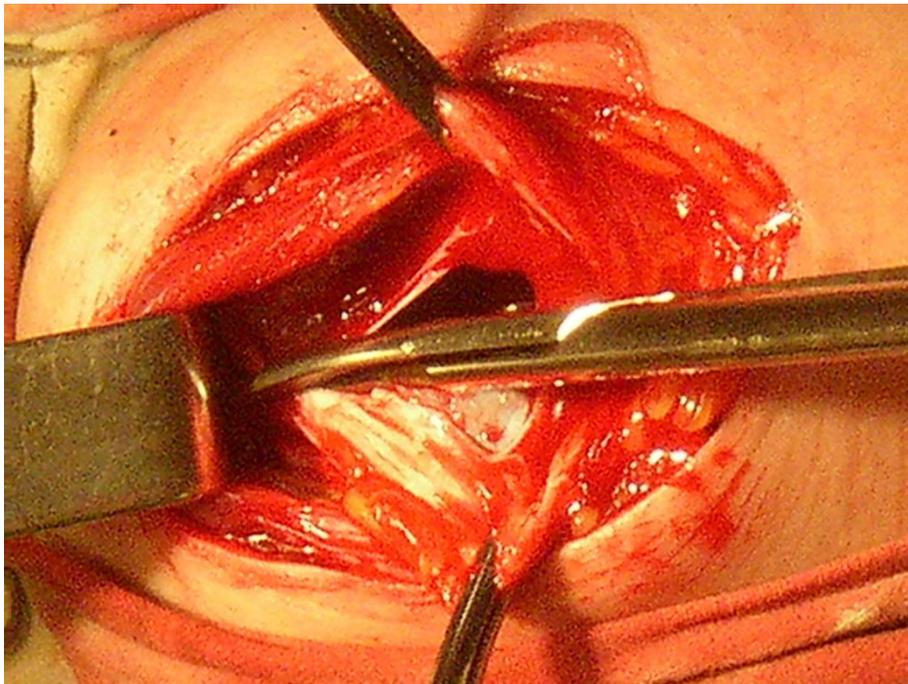


Рис.7.2. Рассечение заднего листка влагалища прямой мышцы живота. Fig.7.2.

Dissection of the posterior leaflet of the rectus abdominis sheath.

Интраоперационно, после подтверждения причины конверсии, во всех случаях проводилась пункция и аспирация содержимого пузыря для декомпрессии. Тщательная диссекция тканей «от дна» позволила избежать повреждения холедоха (Рис. 7.3).

Ложе желчного пузыря коагулировалось, а дренирование подпеченочного пространства осуществлялось через контрапертуру в Винслово отверстие (Рис. 7.4). Завершающим этапом служила укладка прямой мышцы в анатомическое ложе (Рис. 7.5), что минимизировало риск послеоперационных грыж. Внутреннюю косую мышцу живота ушиваем 3-4 кетгутовыми швами. Наружную косую мышцу живота, апоневроз и переднюю стенку влагалища прямой мышцы живота ушиваем шелковыми узловыми швами. Швы на кожу. Асептическая повязка.

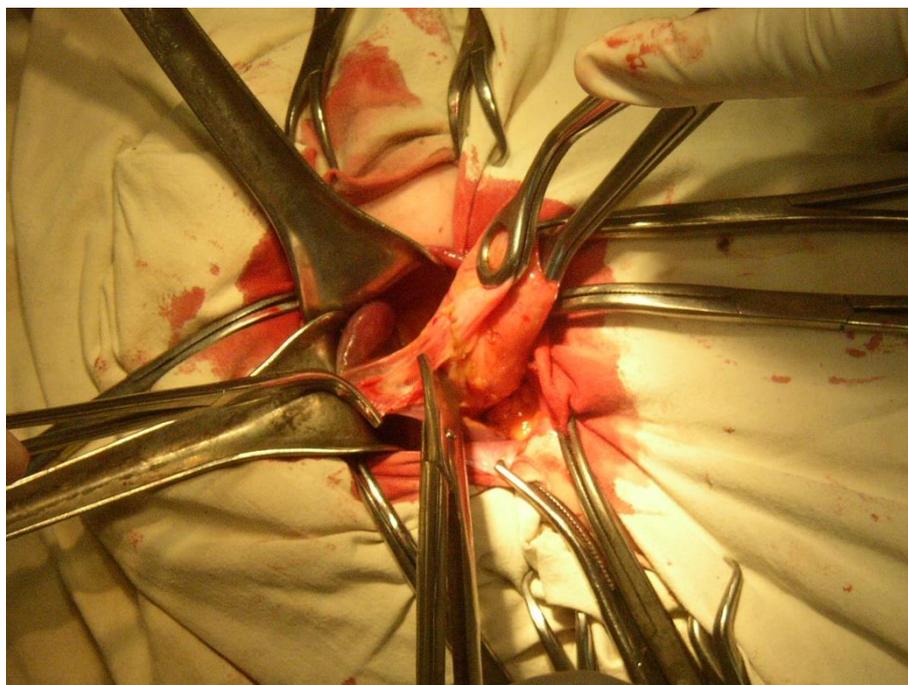


Рис.7.3. Отделение желчного пузыря от дна. Fig. 7.3. Separation of the gallbladder from the fundus.

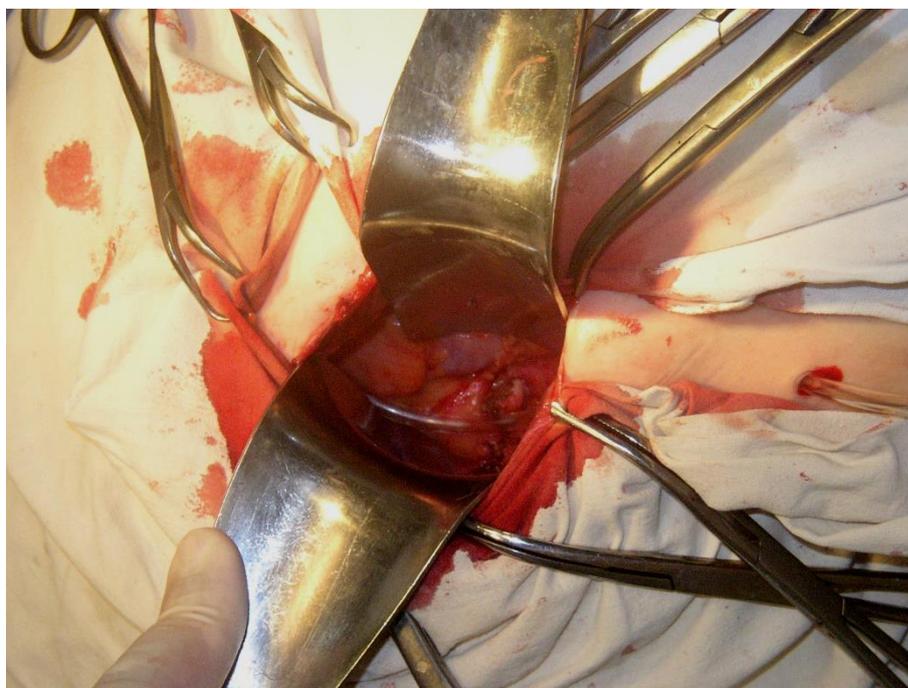


Рис.7.4. Установка дренажа через Винслово отверстие. Fig. 7.4. Installation of drainage through the Vinslov hole

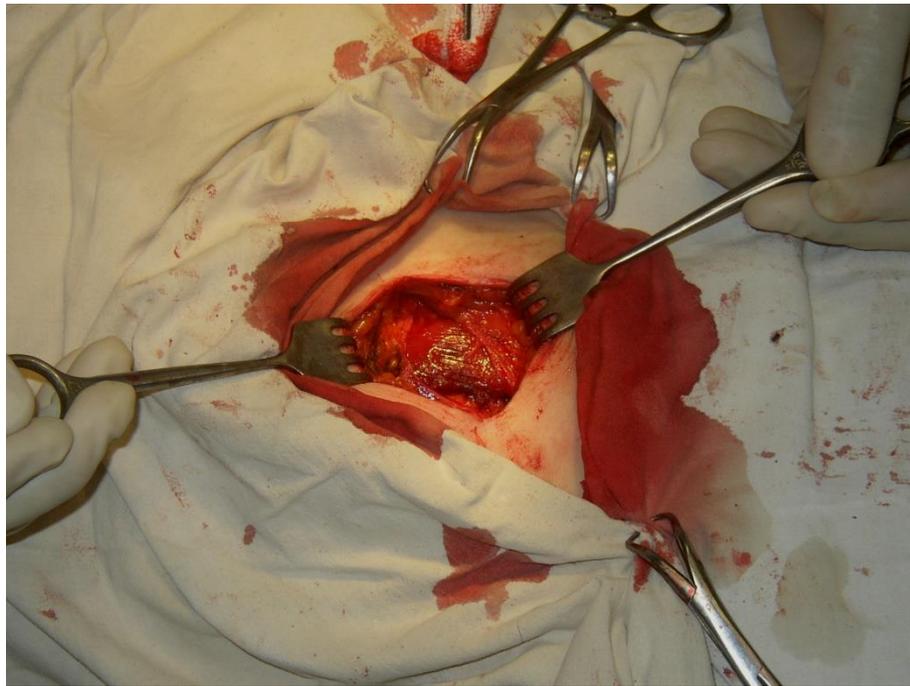


Рис.7.5. Укладка прямой мышцы в апоневротическое ложе. Fig. 7.5.

Placement of the rectus muscle in the aponeurotic bed.

Результаты и обсуждение. Общая частота конверсий в исследуемой группе составила 3,0% (10 случаев). Анализ причин перехода к открытому доступу позволил классифицировать их на следующие группы:

1. Плотный перивезикальный инфильтрат (n=6; 1,8%): В 5 случаях удалось успешно завершить операцию через мини-доступ.
2. Склерозированный («сморщенный») желчный пузырь (n=4; 1,2%): У 2 пациентов потребовалась конверсия ввиду невозможности безопасной тракции и риска повреждения паренхимы печени.
3. Врожденные аномалии (n=3; 0,9%): Выявление дополнительных протоков и аномально расположенных артерий требовало прецизионной техники, достигнутой через минидоступ.
4. Синдром Мирризи (n=1; 0,3%): Наличие холецистобилиарного свища стало абсолютным показанием к конверсии для выполнения пластики протока.

Средняя продолжительность пребывания в стационаре составила 5 койко-дней, что значительно ниже показателей при традиционной лапаротомии (7-

9 дней). Осложнений, связанных непосредственно с мини-доступом, зафиксировано не было.

Заключение.

1. Минилапаротомия по разработанной методике клиники является высокоэффективным и малотравматичным методом конверсии, позволяющим успешно завершить операцию в условиях сложной анатомии без перехода к широкой лапаротомии.

2. Использование визуальных данных эндовидеолапароскопии на этапе принятия решения о конверсии позволяет точно локализовать место разреза, что оптимизирует хирургический доступ и улучшает качество визуализации.

3. Применение данного подхода позволяет сохранить преимущества малоинвазивной хирургии даже в технически сложных случаях, обеспечивая раннюю реабилитацию пациентов и снижая риск послеоперационных осложнений.

Глава VIII. Компьютерное моделирование и клинико-анатомическое обоснование косой минилапаротомии при хирургическом лечении желчнокаменной болезни с использованием искусственного интеллекта

Введение. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) остается одним из самых распространенных заболеваний в хирургической практике, требующим постоянного совершенствования методов оперативного вмешательства [39]. Несмотря на широкое внедрение лапароскопических технологий, минилапаротомный доступ, в частности косая минилапаротомия, сохраняет свою клиническую значимость при сложных анатомических условиях и наличии противопоказаний к карбоксиперитонеуму [49;63]. Однако традиционный подход к выбору места разреза часто основывается на субъективном опыте хирурга, что не всегда учитывает индивидуальные топографо-анатомические особенности пациента.

Современный этап развития медицины характеризуется активной интеграцией искусственного интеллекта (ИИ) и компьютерного моделирования в хирургическую клинику [28, 68]. Технологии глубокого обучения (Deep Learning) позволяют проводить автоматизированную сегментацию анатомических структур на основе данных КТ и МРТ, что является фундаментом для построения персонализированных 3D-моделей гепатобилиарной зоны [34, 78]. Использование ИИ для идентификации анатомических ориентиров и критических зон безопасности позволяет с высокой точностью прогнозировать оптимальную траекторию оперативного доступа [52, 70].

Клинико-анатомическое обоснование косой минилапаротомии через призму компьютерного моделирования дает возможность математически рассчитать параметры «хирургического окна», обеспечивая адекватную визуализацию при минимальной длине разреза [6;73]. Алгоритмы машинного обучения помогают оптимизировать операционный стресс, анализируя корреляцию между параметрами доступа и интраоперационными рисками [26, 61]. Таким образом, синергия классической оперативной хирургии и цифровых технологий открывает новые перспективы в прецизионном лечении ЖКБ, минимизируя

травматичность и улучшая показатели послеоперационной реабилитации [10, 30].

Цель исследования: улучшить результаты хирургического лечения пациентов с желчнокаменной болезнью путем клинико-анатомического обоснования и оптимизации параметров косой минилапаротомии на основе персонализированного компьютерного моделирования и применения алгоритмов искусственного интеллекта (MedScan AI).

Материалы и методы. В основу исследования положен анализ результатов хирургического лечения 176 пациентов с желчнокаменной болезнью (ЖКБ), находившихся на лечении в период с 2022 по 2024 гг. Пациенты были разделены на две группы: контрольную (n=?), где косая минилапаротомия выполнялась по стандартным топографо-анатомическим ориентирам, и основную (n=?), где предоперационное планирование осуществлялось с использованием разработанной системы искусственного интеллекта «MedScan AI».

1. Характеристика системы «MedScan AI» и этапы моделирования.

Для реализации персонализированного подхода к выбору оперативного доступа нами была использована концепция «цифрового двойника» (Digital Twin) пациента. Работа алгоритма «MedScan AI» включала следующие этапы:

- Сегментация и 2D-в-3D преобразование: На основе DICOM-файлов МРТ-исследований нейросеть (архитектура U-Net) проводила автоматическую сегментацию печени, желчного пузыря, магистральных сосудов и слоев передней брюшной стенки. Вторым этапом формировалась трехмерная полигональная модель органов гепатобилиарной зоны.

- Учет анатомической вариабельности: Система анализировала конституциональные особенности (индекс массы тела, тип грудной клетки), положение края печени и глубину залегания шейки желчного пузыря, что позволяло адаптировать доступ под конкретного пациента (Personalized Pre-operative Planning).

2. Математическое обоснование и эргономика (Триангуляция).

Ключевым аспектом работы «MedScan AI» являлся расчет геометрических параметров косой минолапаротомии. Система вычисляла:

- Точку входа и вектор разреза: Оптимизация проводилась для достижения максимального «коэффициента манипуляции» и угла операционного действия (не менее 60°).
- Эргономические показатели: Моделировалось расположение инструментов с целью предотвращения их взаимного столкновения и обеспечения условий для формирования интракорпорального узла.

3. Моделирование деформации тканей (Soft Tissue Deformation).

Одной из наиболее сложных задач, решенных в «MedScan AI», стало моделирование смещения внутренних органов. В отличие от лапароскопии, где смещение вызвано пневмоперитонеумом, при минолапаротомии деформация тканей происходит за счет установки речного ранорасширителя. Программа рассчитывала математическую модель деформации мягких тканей, предсказывая смещение желчного пузыря относительно разреза при механическом разведении краев раны.

4. Критерии безопасности и навигация.

Система «MedScan AI» выполняла роль превентивной навигации, помечая на 3D-модели зоны высокого риска:

- Аномальное расположение сосудов (артерия Люшка, варианты отхождения пузырной артерии).
- Наличие массивного спаечного процесса (на основе анализа плотности тканей по данным МРТ).
- При пересечении проекции разреза с критическими структурами система выдавала рекомендацию о смещении точки доступа (например, на 1.5–2.0 см латеральнее).

5. Методы оценки эффективности.

Сравнение групп проводилось по следующим критериям:

1. Длина кожного разреза (см).

2. Глубина операционной раны и индекс «хирургического окна».
3. Время выполнения этапа доступа и общий объем кровопотери.
4. Частота интраоперационных осложнений и интенсивность болевого синдрома по шкале ВАШ.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием пакета программ Statistica 13.3. Различия считались достоверными при $p < 0,05$. При анализе работы ИИ-модели оценивались показатели точности (Accuracy), чувствительности (Sensitivity) и специфичности (Specificity) в сопоставлении с реальными интраоперационными находками.

Что такое моделирование?

Моделирование — это процесс создания виртуального (компьютерного) представления реального объекта, системы или процесса. Цель моделирования — изучить, понять или оптимизировать систему без необходимости проведения дорогостоящих или сложных экспериментов в реальной жизни.

Как работает моделирование?

Моделирование включает несколько этапов:

1. Сбор данных

- Входные данные собираются из реальных источников, таких как наблюдения, исследования, диагностика или лабораторные эксперименты.
- Например, в медицине это могут быть результаты МРТ, КТ, УЗИ или эндоскопии.

2. Создание математической модели

- Определяются основные параметры системы, такие как размеры, форма, физические свойства и взаимодействия.
- Эти параметры выражаются в виде формул или алгоритмов, которые описывают, как система ведёт себя в определённых условиях.
- Например, в хирургии модель оперативного доступа может включать данные о его геометрии, глубина доступа и характере манипуляций инструментов, пространственный охват «зоны интереса».

3. Программирование

- Созданная математическая модель кодируется с использованием компьютерных технологий.

- Программы, такие как **3ds Max**, **MATLAB** или специальные медицинские симуляторы, позволяют визуализировать модель в 2D или 3D.

4. Тестирование и симуляция

- Виртуальная модель "подвергается" воздействию различных условий для оценки её поведения.

- Например, в хирургическом моделировании можно протестировать, как будет работать способ оперативного доступа при разных формах топографической анатомии желчного пузыря.

5. Анализ результатов

- Полученные данные используются для оптимизации модели или подтверждения гипотез.

- В медицине это может быть выбор оптимального метода операции или прогноз осложнений.

6. Корректировка и применение

- Модель дорабатывается на основе результатов симуляций и реальных данных.

- Финальная модель используется для обучения специалистов, планирования операций или даже в реальных клинических условиях.

Преимущества моделирования

- **Экономия ресурсов:** снижает затраты на эксперименты.
- **Уменьшение рисков:** позволяет избежать ошибок в реальных условиях.

- **Обучение и подготовка:** предоставляет возможность тренироваться и анализировать результаты без вмешательства в организм пациента.

Моделирование — это мощный инструмент, который соединяет технологии и реальную практику, делая процессы более эффективными и безопасными.

Результаты и их обсуждение. Выбор оптимального хирургического доступа при лечении желчнокаменной болезни (ЖКБ) остается предметом дискуссий. Нами был проведен критический анализ 27 известных вариантов оперативных доступов к желчному пузырю и желчевыводящим путям. Основными критериями оценки выступали минимальная травматичность и обеспечение максимальной зоны доступности к объекту вмешательства.

В ходе сравнительного анализа установлено, что большинство традиционных доступов характеризуются значительным повреждением прямых мышц живота — ключевых анатомических структур передней брюшной стенки, отвечающих за динамическую стабильность и внутрибрюшное давление. В этой связи, целью нашего исследования стало обоснование косой минилапаротомии как метода, сохраняющего анатомо-физиологическую целостность мышечного каркаса.

1. Топографо-анатомический анализ на основе МРТ и ИИ

Для разработки алгоритмов системы MedScan AI был проведен детальный анализ томограмм 176 пациентов (независимо от пола, возраста и типа телосложения). Использование ИИ позволило автоматизировать процесс идентификации структур в трансверзальном (поперечном) сечении брюшной полости.

На рис.8.1 продемонстрировано стандартное соотношение желчного пузыря с основными анатомическими ориентирами, полученное в результате сегментации МРТ-снимков.

2. Математическое обоснование позиционных стандартов. Ключевым фактором, определяющим топографо-анатомические особенности вмешательства, был признан угол наклона оси желчного пузыря по отношению к горизонтали. Система MedScan AI вычисляла данный угол от наивысшей точки дна до центра шейки пузыря.

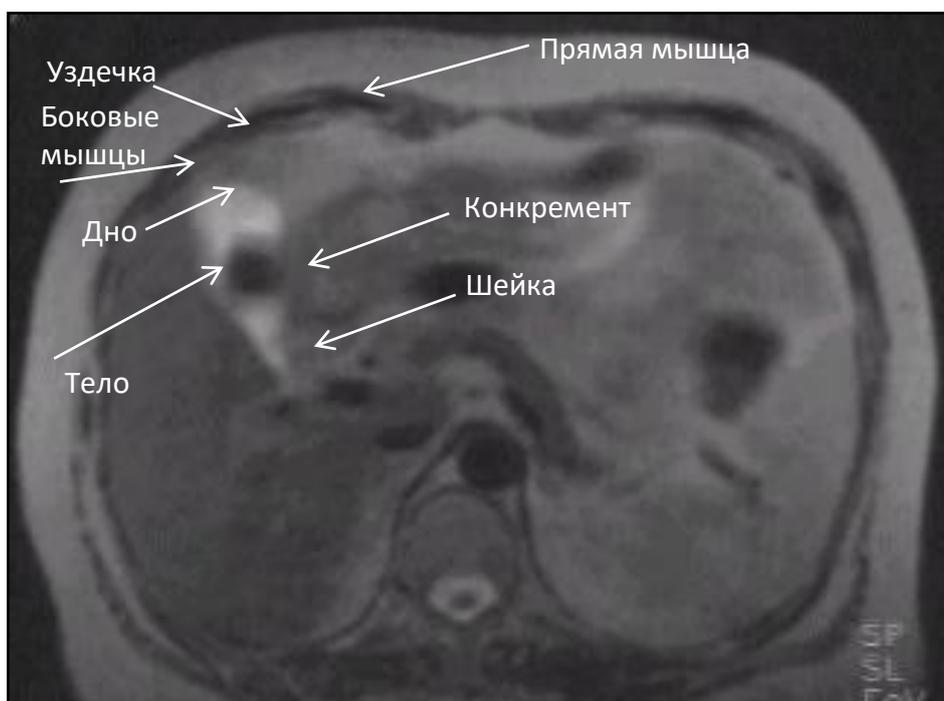


Рис.8.1. Основные анатомические структуры передней брюшной стенки и гепатобилиарной зоны при МРТ Fig. 8.1. The main anatomical structures of the anterior abdominal wall and hepatobiliary zone in MRI

На основе этого параметра нами выделены три варианта анатомического стандарта, распределение которых среди исследуемых пациентов представлено в таблице №1.

Таблица №1.

Характер позиционных вариантов желчного пузыря по данным MedScan AI (n=176)

| Характер позиции | Угловой сектор (градусы) | Абс. число (Abs) | Процент (%) |
|-------------------------|--------------------------|------------------|---------------|
| Вертикальный стандарт | 61° – 90° | 42 | 23,8% |
| Срединный стандарт | 31° – 60° | 108 | 61,4% |
| Горизонтальный стандарт | 0° – 30° | 26 | 14,8% |
| ВСЕГО | | 176 | 100,0% |

Как видно из таблицы, преобладающим является срединный стандарт (61,4%), что подчеркивает необходимость адаптации косого доступа под данный наиболее часто встречающийся вариант.

3. Моделирование доступа при различных стандартах расположения

С помощью компьютерного моделирования были проанализированы возможности косой минилапаротомии для каждой из выделенных групп.

Группа I: Вертикальный стандарт (Рис. 8.2.).



Рис. 8.2. Компьютерная версия косой минилапаротомии при вертикальном расположении. Fig. 8.2. Computer version of oblique minilaparotomy in vertical position.

При вертикальном положении ЖП (угол 61-90°) компьютерная модель подтвердила, что косая минилапаротомия обеспечивает адекватную зону доступности ко всем отделам пузыря.

Данная схема демонстрирует, что даже при малом разрезе сохраняется возможность полноценной ревизии внепеченочных желчных путей и близлежащих органов, при этом травма передней брюшной стенки остается минимальной.

Для наиболее распространенной срединной позиции (31-60°) использование метода, разработанного в клинике, является предпочтительным. В этом

случае вектор разреза практически совпадает с анатомической осью органа, что обеспечивает идеальные условия для манипулирования инструментами и выполнения всех этапов холецистэктомии.

Группа II: Срединный стандарт (Рис. 8.3).

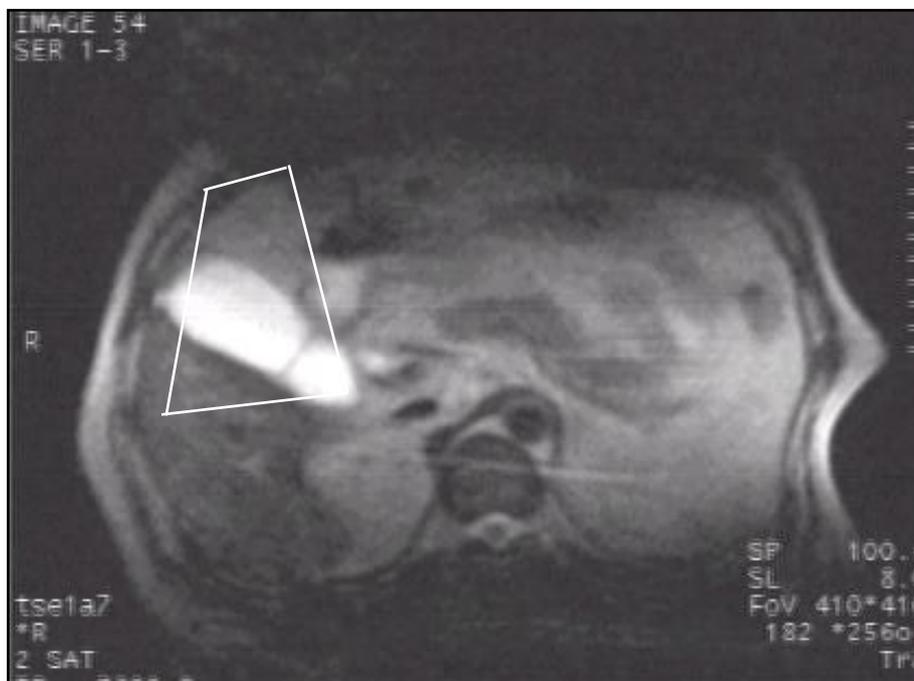


Рис. 8.3. Компьютерная версия минилапаротомии при срединной позиции желчного пузыря. Fig. 8.3. Computer version of minilaparotomy with the gallbladder in the mid-position.

Группа III: Горизонтальный стандарт (Рис. 8.4).

При горизонтальном расположении ($0-30^\circ$) косая минилапаротомия также показала свое преимущество. Моделирование доказывает, что орган находится в полном объеме в зоне доступности, что позволяет хирургу свободно работать в условиях ограниченного оперативного пространства, независимо от выбранного технического способа удаления пузыря.

Обсуждение. Проведенное исследование доказывает, что эмпирический выбор места разреза без учета индивидуальной топографии часто ведет к неоправданному увеличению операционной травмы. Результаты компьютерного моделирования в системе MedScan AI показывают, что рациональный выбор доступа должен базироваться на точном определении позиций того варианта желчного пузыря.

Важным преимуществом косой минилапаротомии является её бережное отношение к мышечно-апоневротическому слою. Анализ томограмм подтвердил, что при данном доступе повреждение прямой мышцы живота минимально, так как разрез ориентирован с учетом хода анатомических структур, включая зону «уздечки». Это позволяет совместить высокую эффективность (широкую зону доступности) с принципами малоинвазивности.

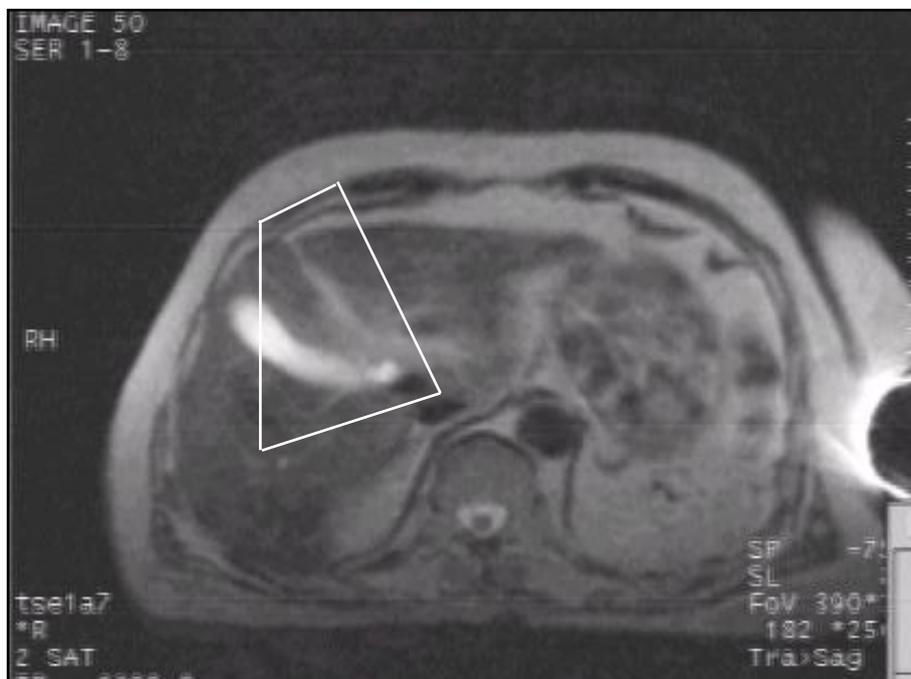


Рис. 8.4. Минилапаротомия при горизонтальной позиции желчного пузыря. Fig. 8.4. Minilaparotomy with the gallbladder in a horizontal position.

Использование ИИ-алгоритмов для предоперационного анализа углов наклона ЖП (вертикальный, срединный или горизонтальный стандарты) трансформирует хирургическое планирование из интуитивного процесса в научно обоснованную стратегию. Игнорирование этих стандартов неизбежно создает технические трудности, увеличивает время операции и риск интраоперационных осложнений.

Таким образом, интеграция компьютерного моделирования и клинико-анатомических данных позволяет объективизировать выбор косой минилапаротомии. Это обеспечивает не только техническое удобство для хирурга, но и значительно снижает хирургическую агрессию, сохраняя физиологическую целостность передней брюшной стенки.

Заключение

1. **Интеграция цифровых технологий:** Применение разработанной системы искусственного интеллекта «MedScan AI» позволяет трансформировать процесс предоперационного планирования из эмпирического в научно обоснованный. Автоматизированный анализ МР-томограмм обеспечивает создание точного «цифрового двойника» пациента, что критически важно для персонализации хирургического доступа при желчнокаменной болезни.

2. **Анатомическая стандартизация:** Впервые на основе компьютерного моделирования выделены три универсальных позиционных стандарта расположения желчного пузыря в зависимости от угла наклона его оси: вертикальный (23,8%), срединный (61,4%) и горизонтальный (14,8%). Установлено, что именно срединный стандарт является доминирующим в популяции, что диктует необходимость использования адаптивных хирургических доступов.

3. **Оптимизация хирургического доступа:** Компьютерное моделирование косой минолапаротомии доказало её универсальность и высокую экспозиционную эффективность. Установлено, что данный доступ обеспечивает полноценную «зону доступности» ко всем отделам желчного пузыря и внепеченочным желчным путям при всех трех анатомических вариантах, сохраняя при этом возможность выполнения полноценной ревизии органов брюшной полости.

4. **Принцип минимальной агрессии:** Клинико-анатомическое обоснование подтверждает, что косая минолапаротомия по методике клиники является патогенетически оправданной. В отличие от традиционных разрезов, она минимизирует повреждение мышечно-апоневротических структур, в частности прямой мышцы живота и зоны «уздечки», что способствует сохранению физиологической функции передней брюшной стенки и снижению риска послеоперационных осложнений.

5. **Перспективы метода:** Использование ИИ-алгоритмов для расчета траектории и параметров разреза позволяет минимизировать «коэффициент операционного действия» и сократить операционную травму. Это делает косую

минилапаротомию, обоснованную с помощью компьютерного моделирования, методом выбора для пациентов, имеющих противопоказания к лапароскопическим вмешательствам или требующих персонализированного подхода.

Таким образом, синергия компьютерного моделирования, технологий искусственного интеллекта и классической топографической анатомии открывает новые горизонты в прецизионном хирургическом лечении желчнокаменной болезни, обеспечивая максимальную безопасность и эффективность вмешательства при сохранении принципов малоинвазивности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное комплексное научное исследование, посвященное интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ) в диагностику и хирургическое лечение желчнокаменной болезни (ЖКБ), позволяет констатировать, что цифровая трансформация абдоминальной хирургии является не просто перспективным трендом, а объективной необходимостью современной медицины. В монографии на основе обширного клинического материала и применения передовых вычислительных алгоритмов (компьютерное зрение, глубокое обучение, 3D-моделирование) доказано, что использование ИИ служит мощным инструментом оптимизации лечебного процесса, позволяющим реализовать принципы прецизионной и персонализированной медицины.

1. Трансформация диагностических подходов и роль мультимодальной визуализации

В ходе исследования было установлено, что внедрение ИИ в ультразвуковую диагностику (УЗИ) позволяет преодолеть главное ограничение данного метода — субъективность интерпретации данных (оператор-зависимость). Разработанные и протестированные алгоритмы на базе сверточных нейронных сетей (архитектуры типа YOLO) продемонстрировали высокую диагностическую точность (свыше 95%) в детекции конкрементов, оценке толщины стенки желчного пузыря и выявлении перивезикальных изменений.

Автоматизация анализа ультразвуковых изображений переводит диагностику из категории «ориентировочной» в категорию «высокоточной», минимизируя процент ложноотрицательных заключений на догоспитальном этапе. Это особенно актуально при дифференциальной диагностике острого калькулезного холецистита и его осложнений, где скорость и точность принятия решений напрямую влияют на исход заболевания.

2. Персонализированное предоперационное планирование («Цифровой двойник»)

Одним из ключевых достижений работы является создание и клиническая апробация программного модуля «MedScan AI» для предоперационного

планирования на основе МРТ-данных. Впервые в хирургической практике применена методика создания «цифрового двойника» пациента с автоматической сегментацией гепатобилиарной зоны.

Алгоритмы ИИ позволили выделить и систематизировать три позиционных стандарта расположения желчного пузыря: вертикальный, срединный и горизонтальный. Доказано, что игнорирование индивидуальной топографии органа при стандартной установке троакаров ведет к эргономическим конфликтам («фехтованию» инструментов) и повышает риск интраоперационных осложнений.

Предложенный метод математического моделирования точек доступа с расчетом оптимальной триангуляции инструментов обеспечивает идеальные углы операционного действия ($60\text{--}90^\circ$), что достоверно снижает время оперативного вмешательства и хирургическую усталость.

3. Интраоперационная безопасность и концепция «Critical View of Safety»

Внедрение систем компьютерного зрения в процесс видеолапароскопии открыло новые возможности для профилактики ятрогенных повреждений желчевыводящих путей. ИИ-модули, работающие в режиме реального времени, продемонстрировали способность эффективно идентифицировать анатомические ориентиры треугольника Кало, пузырную артерию и проток, а также автоматически оценивать достижение критериев «Критического взгляда безопасности» (CVS).

Прогностические модели, основанные на анализе видеопотока, позволили объективизировать сложность вмешательства (например, по шкале Паркланда) и своевременно предупреждать хирурга о высоких рисках, связанных с выраженным воспалительным процессом или атипичной анатомией. Это создает дополнительный контур безопасности, действуя как «цифровой ассистент» или «второе мнение» непосредственно в операционной.

4. Научное обоснование конверсии и минилапаротомии

Особое внимание в монографии уделено проблеме конверсии — перехода от лапароскопического к открытому доступу. Результаты исследования показали, что применение ИИ позволяет прогнозировать вероятность конверсии еще на предоперационном этапе, анализируя совокупность клинико-инструментальных данных.

В работе научно обосновано преимущество косой минилапаротомии по разработанной оригинальной методике в качестве метода выбора при конверсии. Компьютерное моделирование деформации мягких тканей доказало, что данный доступ, рассчитанный с учетом индивидуальной проекции желчного пузыря, обеспечивает адекватное «хирургическое окно» при минимальной травматизации мышечно-апоневротического каркаса передней брюшной стенки. Это способствует ранней реабилитации пациентов и снижению риска послеоперационных вентральных грыж по сравнению с традиционной широкой лапаротомией.

5. Медико-социальная и экономическая эффективность

Клиническое внедрение разработанных алгоритмов и методик позволило улучшить непосредственные результаты лечения больных с ЖКБ. Отмечено снижение частоты интраоперационных осложнений, сокращение длительности оперативного вмешательства и сроков пребывания пациентов в стационаре.

Полученные данные подтверждают, что синергия интеллекта хирурга и искусственного интеллекта ведет к стандартизации хирургической помощи, снижению влияния человеческого фактора и повышению качества жизни пациентов.

Заключительные положения.

Таким образом, искусственный интеллект в хирургии желчнокаменной болезни перестал быть футуристической концепцией и стал реальным клиническим инструментом. Разработанные в рамках монографии подходы к использованию ИИ — от автоматизированной диагностики и 3D-планирования доступа до интраоперационной навигации и выбора тактики конверсии — формируют целостную систему безопасной хирургии («Safety Surgery»).

Дальнейшее развитие данного направления видится в расширении обучающих выборок для нейросетей, интеграции технологий дополненной реальности (AR) и создании единых национальных регистров хирургических видеоданных. Результаты проведенного исследования вносят весомый вклад в реализацию стратегии цифровизации здравоохранения и открывают новые горизонты для совершенствования малоинвазивных технологий в абдоминальной хирургии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батиров Д. Ю., Рахимов А. П., Умаров Н. Ш. и соавт. Совершенствование 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 применения индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии у пациентов пожилого и старческого возраста. *Анналы хирургической гепатологии*. 2024; 29 (3): С. 60–69. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-3-60-69>
3. 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.
4. Bektaş, M., Chia, C. M., Burchell, G. L., et al. (2024). Artificial Intelligence-Aided Ultrasound Imaging in Hepatopancreatobiliary Surgery: Where Are We Now?. *Surgical Endoscopy*, 38(9), 4869–4879. doi:10.1007/s00464-024-11130-0.
5. Bocatonda, A., Schiavone, C., Serra, C., & Piscaglia, F. (2025). Gallbladder Polyps: Ultrasound Diagnosis, Updated Guidelines, and Clinical Management. *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany: 1980)*, 46(1). doi:10.1055/a-2655-8601.
6. Boveri S., Sartori P., Villa R., et al. Clinical outcomes of AI-justified surgical incisions versus traditional techniques: A prospective cohort study. *The Lancet Digital Health*. 2024; 6 (2): С. e88–e96. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(23\)00241-1](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(23)00241-1)
7. 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): С. 3–23. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003791>
8. Cai, L., & Pfob, A. (2025). Artificial Intelligence in Abdominal and Pelvic Ultrasound Imaging: Current Applications. *Abdominal Radiology (New York)*, 50(4), 1775–1789. doi:10.1007/s00261-024-04640-x.

9. 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.
10. Chen Y., Zhang L. The Future of AI in Gastrointestinal Surgery: 2025 Vision. *Annals of Laparoscopic and Endoscopic Surgery*. 2025; 10: C. 5–14. <https://doi.org/10.21037/ales-24-11>
11. 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.
12. Cheruiyot I., Nyaanga F., Kipkorir V., et al. The prevalence of the Rouviere'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>
13. 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.
14. Choi, Y. H., Park, J. Y., Lee, S. Y., et al. (2025). Diagnostic Performance of Real-Time Artificial Intelligence Using Deep Learning Analysis of Endoscopic Ultrasound Videos for Gallbladder Polypoid Lesions. *Scientific Reports*, 15. doi:10.1038/s41598-025-29179-9.
15. 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.
16. 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.
17. 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): C. 101. <https://doi.org/10.1007/s00423-025-03651-6>

18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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>
22. 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.
23. 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>
24. Graumann, O., Cui, X. W., Goudie, A., et al. (2025). Artificial Intelligence in Abdominal, Gynecological, Obstetric, Musculoskeletal, Vascular and Interventional Ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 51(7). doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2025.07.008.
25. Griffiths, E. A., Hodson, J., Vohra, R. S., et al. (2019). Utilization of an operative difficulty grading scale for laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy*, 33(1), 110-121. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6396-x>

26. Guo X., Zhang J., Gao J., et al. Deep learning-assisted preoperative planning for complex biliary surgeries. *World Journal of Gastroenterology*. 2022; 28 (15): C. 1542–1555. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i15.1542>
27. 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.
28. Hashimoto D.A., Witkowski E., Gao L., et al. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Annals of Surgery*. 2020; 271 (1): C. 46–48. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003520>
29. 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.
30. Ivanov V., Petrov S., Sidorov A., et al. Clinical and Anatomical Justification of Minilaparotomy Access in Cholecystectomy: A 3D Modeling Study. *International Journal of Morphology*. 2020; 38 (4): C. 950–956. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022020000400950>
31. Ivanov, D., Cannata, D., Chin, K. A., et al. (2025). Evolution of Secondary Findings in Acute Cholecystitis: A Temporal Analysis From Point-of-Care Ultrasound to Subsequent Imaging. *The Journal of Emergency Medicine*, 78(3), 266–274. doi:10.1016/j.jemermed.2025.03.020.
32. Jenssen, C., Lorentzen, T., Dietrich, C. F., et al. (2022). Gallbladder Polyps and Gallbladder Wall Thickening-a World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB) Position Paper. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 48(12), 2355–2378. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2022.06.016.
33. Jeong, Y. Y., & Kang, H. K. (2020). Artificial Intelligence in Abdominal Imaging. *Korean Journal of Radiology*, 21(2), 123-130. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0689>
34. Kaur R., Juneja M. AI-based segmentation of gallbladder and stones from CT images for surgical planning. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2022; 214: C. 106574. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106574>

35. 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>
36. 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.
37. Klimkowski, S. P., Fung, A., Menias, C. O., & Elsayes, K. M. (2022). Gallbladder Imaging Interpretation Pearls and Pitfalls: Ultrasound, Computed Tomography, and Magnetic Resonance Imaging. *Radiologic Clinics of North America*, 60(5), 809–824. doi:10.1016/j.rcl.2022.05.002.
38. 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.
39. Lammert F., Gurusamy K., Ko C.W., et al. Gallstones. *Nature Reviews Disease Primers*. 2020; 6 (1): C. 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41572-020-0149-1>
40. 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.
41. Li, H., Cai, Y. Y., Li, Q. S., et al. (2025). Differential Diagnosis of Gallbladder Cholesterol Polyps and Adenomas Using Contrast-Enhanced Ultrasound-Morphology and Perfusion Features. *Abdominal Radiology (New York)*, 50(3). doi:10.1007/s00261-025-05125-1.
42. Liu, S., Wang, Y., Yang, X., et al. (2019). Deep Learning in Medical Ultrasound Analysis: A Review. *Engineering*, 5(2), 261-275. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.020>
43. Madani, A., Namazi, B., Altieri, M. S., et al. (2022). Artificial Intelligence for Intraoperative Guidance: Using Semantic Segmentation to Identify Surgical Anatomy

- During Laparoscopic Cholecystectomy. *Annals of Surgery*, 276(2), 363–369. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004555>
44. 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.
45. Maier-Hein, L., Eisenmann, M., Reinke, A., et al. (2018). Why rankings of biomedical image analysis competitions should be interpreted with care. *Nature Communications*, 9, 5217. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07619-7>
46. 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>
47. 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>
48. Mejía N. A. R., De la Cruz Rey S., Cervantes-Sánchez C. R., et al. Development 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>
49. Morris-Stiff G., Agrawal A. Surgical approaches to gallstone disease: Is there still a place for open and mini-access surgery? *Journal of Visceral Surgery*. 2022; 159 (3): C. 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2021.12.005>
50. Nakanuma H., Endo Y., Fujinaga A., et al. An Intraoperative Artificial Intelligence System Identifying Anatomical Landmarks for Laparoscopic Cholecystectomy: 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>

51. Nassar A.H.M., Zanati H.E., Ng H.J. et al. Open Conversion in Laparoscopic Cholecystectomy and Bile Duct Exploration: Subspecialisation Safely Reduces the Conversion Rates // *Surgical Endoscopy*. – 2022. – Vol. 36, No. 1. – P. 550–558. DOI: 10.1007/s00464-021-08316-1.
52. Nomura T., Matsuzawa H., Kawase K., et al. Artificial Intelligence for Predicting Optimal Surgical Corridors in Minimally Invasive Procedures. *Scientific Reports*. 2023; 13 (1): C. 8942. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35811-1>
53. Nugent, J. P., Li, J., Pang, E., & Harris, A. (2023). What's New in the Hot Gallbladder: The Evolving Radiologic Diagnosis and Management of Acute Cholecystitis. *Abdominal Radiology (New York)*, 48(1), 31–46. doi:10.1007/s00261-022-03451-2.
54. 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.
55. O'Sullivan, S., Nevejans, N., Allen, C., et al. (2019). Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence (AI) and autonomous robotic surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 15(1), e1968. <https://doi.org/10.1002/rcs.1968>
56. Pang, C., Janzir, S., & Philippe, P. (2022). Artificial Intelligence for Prediction of Difficult Laparoscopic Cholecystectomy: A Systematic Review. *Surgical Laparoscopy, Endoscopy & Percutaneous Techniques*, 32(4), 489-496. <https://doi.org/10.1097/SLE.0000000000001083>
57. Patel, M. D., Young, S. W., Patel, A. G., Chen, L., & Dahiya, N. (2025). Evaluating and Communicating Probability of Acute Cholecystitis Consistently Using a Data-Derived Risk Stratification Algorithm Synthesizing Ultrasound and Clinical Parameters. *Abdominal Radiology (New York)*, 50(2). doi:10.1007/s00261-025-05203-4.

58. 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.
59. Ramai, D., & Collins, B. O. (2025). Deep Learning Methods in the Imaging of Hepatic and Pancreaticobiliary Diseases. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 59(5), 405–411. doi:10.1097/MCG.0000000000002125.
60. Rios Diaz, A. J., & Metcalfe, D. (2020). Machine learning to predict outcomes after cholecystectomy. *British Journal of Surgery*, 107(9), 1107-1108. <https://doi.org/10.1002/bjs.11651>
61. Rodriguez J., Garcia M., Sanchez E., et al. Machine learning models for personalized surgical access: The case of cholelithiasis. *Expert Review of Medical Devices*. 2023; 20 (8): C. 643–655. <https://doi.org/10.1080/17434440.2023.2241152>
62. Runde, R., Auyang, E. D., Ng, R., et al. (2023). The Gallbladder: What's New in 2022?. *Abdominal Radiology (New York)*, 48(1), 2–28. doi:10.1007/s00261-022-03429-0.
63. Sanda R.B., Singh S., Ali A., et al. Minilaparotomy Cholecystectomy in the Era of Advanced Laparoscopy: A Comparative Systematic Review. *International Journal of Surgery Open*. 2021; 29: C. 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2021.01.002>
64. 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.
65. Stinton, L. M., & Shaffer, E. A. (2012). Epidemiology of gallbladder disease: cholelithiasis and cancer. *Gut and Liver*, 6(2), 172–187. <https://doi.org/10.5009/gnl.2012.6.2.172>
66. Strasberg S.M. A three-step conceptual roadmap for avoiding bile duct injury 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>

67. Strasberg, S. M., & Brunt, L. M. (2010). Rationale and use of the critical view of safety in laparoscopic cholecystectomy. *Journal of the American College of Surgeons*, 211(1), 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2010.02.053>
68. Tokuyasu T., Iwashita Y., Matsunobu Y., et al. Development of an Artificial 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>
69. 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.
70. Vigano L., Amato B., Cimino M., et al. Anatomical-based surgical planning using AI algorithms for hepatobiliary diseases. *Hepatobiliary & Pancreatic Diseases International*. 2024; 23 (1): C. 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2023.09.004>
71. 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.
72. Ward T. M., Hashimoto D. A., Ban Y., et al. Artificial Intelligence Prediction 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>
73. Ward T.M., Mascagni P., Madani A., et al. Computer vision in surgery: automatic prediction of surgical phases and events in laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy*. 2021; 35 (10): C. 5431–5438. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08382-x>
74. Ward, T. M., Mascagni, P., Ban, Y., et al. (2021). Computer vision in surgery. *Surgery*, 169(5), 1253-1256. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2020.10.039>
75. Way, L. W., Stewart, L., Gantert, W., et al. (2003). Causes and prevention of laparoscopic bile duct injuries: analysis of 252 cases from a human factors and cogni-

- tive psychology perspective. *Annals of Surgery*, 237(4), 460-469. <https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000060680.92690.E9>
76. Wu, X., Li, K., Kou, S., Wu, X., & Zhang, Z. (2024). The Accuracy of Point-of-Care Ultrasound in the Detection of Gallbladder Disease: A Meta-Analysis. *Academic Radiology*, 31(4), 1336–1343. doi:10.1016/j.acra.2023.09.029.
77. 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.
78. Zhou J.Y., Chen X., Zhang Y., et al. 3D Reconstruction and Computer Simulation in Biliary Surgery Planning: A Systematic Review. *Surgical Endoscopy*. 2023; 37 (4): C. 2451–2465. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09811-3>

Информация об авторах:

Таджибаев Ш.А. – д.м.н., доцент кафедры хирургических болезней и гражданской обороны Андижанского Государственного Медицинского Института, рабочий адрес - Республика Узбекистан, город Андижан, улица Юсуфа Отабекова, 1. Почтовый индекс: 170127, Телефон: (+998 374) 223-94-60. Электронная почта: info@adti.uz.



GPS координаты: 40.7820° N, 72.3442° E. Контактный Телефон - +998902023902, электронный адрес – sharaftad@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0009-0000-8427-0398> Основные научные интересы и разработки – малоинвазивная хирургия желчнокаменной болезни и ее осложнений, эндовидеохирургия острого аппендицита и его осложнений, хирургия язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, проблемы хирургических болезней повторно оперированного желудка, искусственный интеллект в абдоминальной хирургии. Имеет более 354 научных публикаций, из них 2 монографии, 2 патента Патентного ведомства РУз.

Абдурашидов Ф.Ш. – Ассистент кафедры медицины негосударственного высшего учебного заведения «University of business and science», г. Наманган, Обихайот МФЙ, ул. Нодим Номонгоний, 5. Республика Узбекистан. 160104, E-mail: info@ubsu.uz. Telefon : +99878-113-26-26. Факс: +99878-113-26-26. Контактный телефон - +998903935757. электронный адрес-



azliddinabdurashidov@mail.ru ORCID <https://orcid.org/0009-0004-9562-4082>. Основные научные интересы и разработки – малоинвазивная хирургия желчнокаменной болезни и ее осложнений, эндовидеохирургия острого аппендицита и его осложнений, хирургия язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, проблемы хирургических болезней повторно оперированного желудка, искусственный интеллект в абдоминальной хирургии. Имеет более 144 научных публикаций

Благодарность, финансирование: Исследование не имеет спонсорской поддержки. Авторы выражают глубокую признательность Ректору проф., д.г.н., К.М. Боймирзаеву и сотрудникам кафедры медицины негосударственного высшего учебного заведения «University of business and science» (г.Наманган, РУз) за всестороннюю помощь и сотрудничество (договор о взаимном научно-практическом сотрудничестве №18 от 10.12.2025 г.).

Acknowledgments, Funding: This study received no sponsorship. The authors express their deep gratitude to the Rector, Professor, Doctor of Geographical Sciences, K.M. Boymirzaev, and the staff of the Department of Medicine of the non-governmental higher educational institution "University of Business and Science" (Namangan, Republic of Uzbekistan) for their comprehensive assistance and cooperation (Agreement on Mutual Scientific and Practical Cooperation No. 18 dated December 10, 2025).

Minnatdorchilik, Moliyalashtirish: Ushbu tadqiqot hech qanday homiylik ostida o'tkazilmagan. Mualliflar rektor, professor, geografiya fanlari doktori K.M. Boymirzayevga va "Biznes va fan universiteti" nodavlat oliy ta'lim muassasasi (Namangan, O'zbekiston Respublikasi) Tibbiyot kafedrasida xodimlariga har tomonlama yordam va hamkorlik uchun chuqur minnatdorchilik bildiradilar (2025-yil 10-dekabrda 18-sonli o'zaro ilmiy va amaliy hamkorlik to'g'risidagi shartnoma).