УДК:616.366-003.7:089

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КЛИНИКО-АНАТОМИ-ЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОСОЙ МИНИЛАПАРОТОМИИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ЖЕЛЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

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

COMPUTER MODELING AND CLINICAL AND ANATOMICAL SUBSTANTIATION OF OBLIQUE MINILAPAROTOMY IN THE SURGICAL TREATMENT OF GALLSTONE DISEASE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

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

O'T TOSH KASALLIGINI SUN'IY INTELLIGENT YORDAMIDA JARROHLIK DAVOLASHDA QIYA MINIPAROTOMINING KOMPYU-TERDA MODELLASHTIRISH VA KLINIK VA ANATOMIK ASOSLASH

Tojibaev Sh.A.[1], Abdurashidov F.Sh.[2], Sharipov K.K.[1], Saminjonov X.U.[1]
[1]Andijon davlat tibbiyot instituti, Andijon.
[2]"Biznes va fanlar universiteti" nodavlat oliy ta'lim muassasasi, Namangan.

Аннотация. *Проведен анализ МР-томограмм 176 пациентов для изучения топографии желчного пузыря (ЖП). На основе ИИ-алгоритмов разработана классификация позиционных стандартов ЖП. В клиническую часть включено 176 пациентов, разделенных на контрольную и основную (с применением MedScan AI) группы. ИИ позволил выделить три типа расположения ЖП: вертикальный (23,8%), срединный (61,4%) и горизонтальный (14,8%).*
Ключевые слова: *желчнокаменная болезнь, искусственный интеллект, MedScan AI, косая минилапаротомия, компьютерное моделирование, хирургический доступ.*

Abstract. *MR-scans of 176 patients were analyzed to study gallbladder (GB) topography. Based on AI algorithms, a classification of GB positional standards was developed. The clinical study included 176 patients, divided into a control group and a study group (utilizing MedScan AI). AI identified three types of GB positioning: vertical (23.8%), middle (61.4%), and horizontal (14.8%). It was established that oblique minilaparotomy provides an optimal accessibility zone for all types.*
Keywords: *gallstone disease, artificial intelligence, MedScan AI, oblique minilaparotomy, computer modeling, surgical access.*

Annotatsiya. *O‘t pufagi topografiyasini o‘rganish uchun 176 nafar bemorning MRT-tomogrammalari tahlil qilindi. SI algoritmlari asosida o‘t pufagi joylashuvining pozitsion standartlari tasnifi ishlab chiqildi. Klinik qismga 176 nafar bemor kiritilib, ular nazorat va asosiy (MedScan AI qo‘llanilgan) guruhlarga bo‘lindi. SI yordamida o‘t pufagi joylashuvining uchta turi aniqlandi: vertikal (23,8%), o‘rta (61,4%) va gorizontal (14,8%). Qiya minilaparotomiya barcha turlarda operatsion qulaylikni (vizualizatsiyani) ta’minlashi isbotlandi.*
Tayanch so‘zlar: *o‘t-tosh kasalligi, sun’iy intellekt, MedScan AI, qiya minilaparotomiya, kompyuter modellashtirish, jarrohlik kirish yo‘li.*

Введение. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) остается одним из самых распространенных заболеваний в хирургической практике, требующим постоянного совершенствования методов оперативного вмешательства [1]. 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 [2, 14]. 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 [3, 4]. 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 [5, 6]. Использование ИИ для идентификации анатомических ориентиров и критических зон безопасности позволяет с высокой точностью прогнозировать оптимальную траекторию оперативного доступа [7, 8].

Клинико-анатомическое обоснование косой минилапаротомии через призму компьютерного моделирования дает возможность математически рассчитать параметры «хирургического окна», обеспечивая адекватную визуализацию при минимальной длине разреза [9, 12]. Алгоритмы машинного обучения позволяют оптимизировать операционный процесс, анализируя корреляцию между параметрами доступа и интраоперационными рисками [10, 11]. Таким образом, синергия классической оперативной хирургии и цифровых технологий открывает новые перспективы в прецизионном лечении ЖКБ, минимизируя травматичность и улучшая показатели послеоперационной реабилитации [13, 15].

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: 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. у которых в качестве оперативного доступа использован вариант косой минилапаротомии по методики клиники (Патент №05079 ПВ РУз.). Пациенты были разделены на две группы: контрольную (n=79), где косая минилапаротомия выполнялась по стандартным топографо-анатомическим ориентирам, и основную (n=97), 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 минилапаротомии. 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. Моделирование деформации тканей (Soft Tissue Deformation).

3. 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).

4. Методы оценки эффективности. Сравнение групп проводилось по следующим критериям: Длина кожного разреза (см). Глубина операционной раны и индекс «хирургического окна». Время выполнения этапа доступа и общий объем кровопотери. Частота интраоперационных осложнений и интен- сивность 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 специфич-ности (Specificity) в сопоставлении с реальными интраоперационными находками.

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.

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.

На рис.1 продемонстрировано стандартное соотношение желчного пузыря с основными анатомическими ориентирами, полученное в результате сегментации МРТ-снимков.

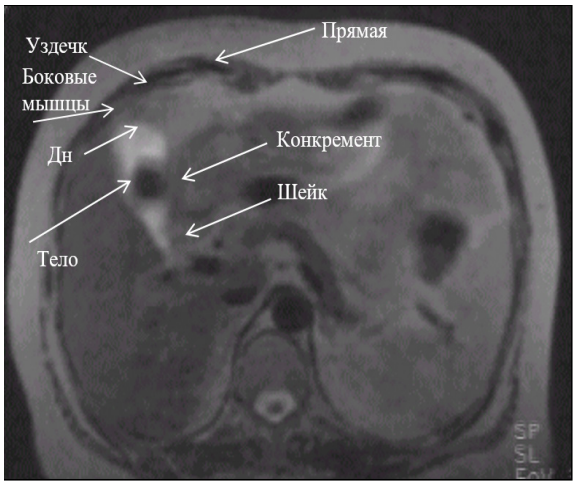


Рис.1. Основные анатомические структуры передней брюшной стенки и гепатобилиарной зоны при МРТ.

На основе этого параметра нами выделены три варианта анатомического стандарта, распределение которых среди исследуемых пациентов представлено в таблице 1.

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

Таблица 1

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.

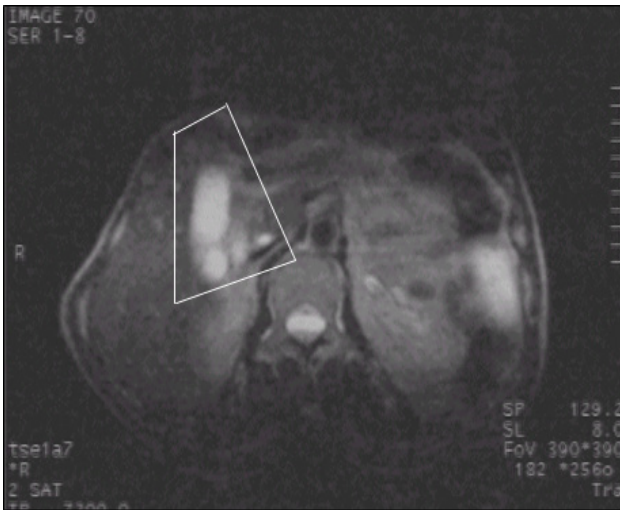


Рис. 2. Компьютерная версия косой минилапаротомии при вертикальной позиции.

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.

Группа II: Срединный стандарт. Для наиболее распространенной срединной позиции (31-60°) использование косой минилапаротомии является предпочтительным, рис.3

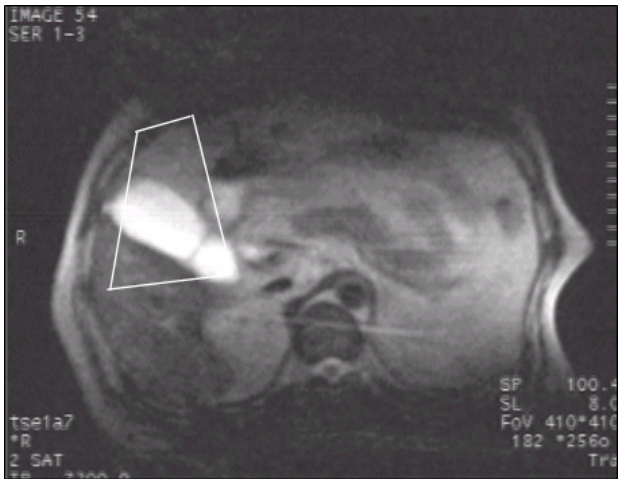


Рис. 3. Компьютерная версия минилапаротомии при срединной позиции.

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

Группа III: Горизонтальный стандарт, рис. 4.. При горизонтальном расположении (0-30°) 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 холецистэктомии.

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 позиционного 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».

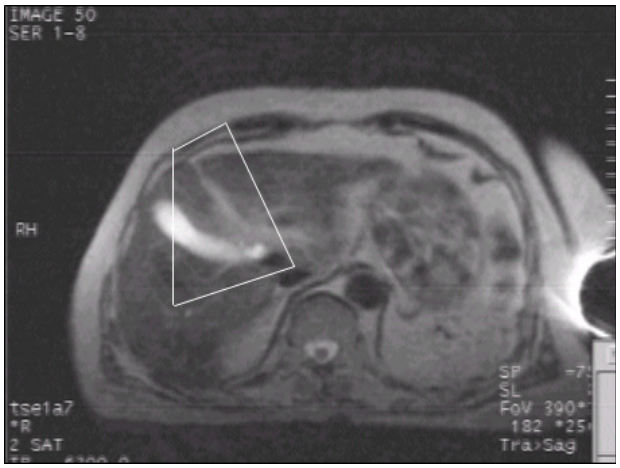


Рис. 4. Минилапаротомия при горизонтальной позиции.

Это позволяет совместить высокую эффективность (широкую зону доступности) с принципами малоинвазивности.

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.

Заключение по разделу: 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.

Выводы.

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 минилапаротомии 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 минилапаротомия 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.

Список литературы:

1. 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
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
12. 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): C. e88–e96. https://doi.org/10.1016/S2589-7500(23)00241-1
13. 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
14. 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
15. 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