УДК: 616.366 - 003.7

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ХОЛЕЛИТИАЗА: ОТ POCUS И СТРАТИФИКАЦИИ РИСКОВ ДО ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

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

XOLELITIAZNING MULTIMODAL ULTRATSON TASHXISI: POKUS VA XAVFLI STRATIFIKATSIYADAN SUNT'IY INTELLEKTSIYANI TADBIRLASHGA

Tojiboev Sh.A.[1], Abdurashidov F.Sh.[2], Tojikxo'jaev Sh.Sh.[1], Saminjonov X.U.[1]
[1]Andijon davlat tibbiyot instituti, Andijon.
[2]"Biznes va fan universiteti" nodavlat oliy ta'lim muassasasi, Namangan.

MULTIMODAL ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF CHOLELITHIASIS: FROM POCUS AND RISK STRATIFICATION TO THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

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

Аннотация: *В данной статье анализируются возможности интеграции мультимодальной ультразвуковой диагностики и технологий искусственного интеллекта (ИИ) в хирургическую практику. На основе данных 242 пациентов, перенесших лапароскопическую холецистэктомию в период 2020–2025 гг., оценивалась эффективность интеллектуальной платформы «Мед-Скан AI». 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.*

Ключевые слова: *холелитиаз, мультимодальное УЗИ, искусственный интеллект, POCUS, лапароскопическая холецистэктомия, нейронные сети, критерии CVS.*

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqotda xirurgik amaliyotda multimodal ultratovush diagnostikasi va sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarini integratsiyalash imkoniyatlari tahlil qilingan. 2020–2025-yillar davomida laparoskopik xolesistektomiya o'tkazilgan 242 nafar bemorning ma'lumotlari o'rganildi. Tadqiqotda YOLOv3 va YOLOv8 arxitekturalariga asoslangan «MedSkan AI» platformasi qo'llanildi. SI algoritmlari biliar zona anatomiyasini identifikatsiya qilish, "Critical View of Safety" (CVS) mezonlarini baholash va operatsion xavflarni prognozlashda foydalanildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, SI yordamida diagnostik aniqlik 95% dan oshdi va anatomik tuzilmalarni aniqlashda ekspert xulosalari bilan 92,4% moslik aniqlandi. Xulosa qilib aytganda, SI texnologiyalari diagnos-tika sifatini oshirish va biliar xirurgiyada iatrogen shikastlanishlar xavfini kamaytirishda yuqori sa-maradorlikka ega.*

Kalit so'zlar: *xolelitiaz, multimodal ultratovush, sun'iy intellekt, POCUS, laparoskopik xo-lesistektomiya, neyron tarmoqlari, CVS mezonlari.*

Abstract. *This study evaluates the potential of integrating multimodal ultrasound diagnostics and artificial intelligence (AI) technologies into surgical practice. Data from 242 patients who under-went laparoscopic cholecystectomy between 2020 and 2025 were analyzed using the "MedSkan AI" platform. The study employed deep learning architectures, specifically YOLOv3 and YOLOv8, for automated identification of biliary anatomical landmarks and real-time evaluation of the "Critical View of Safety" (CVS) criteria. The findings revealed a diagnostic accuracy exceeding 95%, with a 92.4% correlation between AI-assisted identification and expert surgical assessment. The integra-tion of AI algorithms into ultrasound imaging significantly reduces operator dependence and mini-mizes the risk of iatrogenic bile duct injuries. The study concludes that AI-driven multimodal diag-nostics enhance surgical precision and patient safety in hepatobiliary surgery.*

Keywords: *cholelithiasis, multimodal ultrasound, artificial intelligence, POCUS, laparo-scopic cholecystectomy, neural networks, CVS criteria.*

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 [9].

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) [1]. 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 [4]. Для повышения точности диагностики Patel et al. (2025) предложили алгоритм стратификации риска, объединяющий клинические параметры (возраст, лейкоцитоз) и ультразвуковые данные (толщина стенки, наличие жидкости, кровоток в печеночной артерии). Данный подход позволяет классифицировать пациентов по четырем категориям вероятности ОХ, исключая неопределенные заключения [3].

Важным аспектом диагностики является дифференциация острого холецистита от других патологий, таких как полипы или аденомиоматоз [7, 8]. Современные методы, включая контрастно-усиленное ультразвуковое исследование (CEUS) и микропотоковую визуализацию, позволяют детально оценивать васкуляризацию образований [2]. Li et al. (2025) продемонстрировали, что CEUS эффективно дифференцирует холестериновые полипы от аденом, что критически важно для выбора тактики лечения и предотвращения необоснованных холецистэктомий [5]. Кроме того, перфузионные методики УЗИ без контрастирования помогают лучше выявлять аномальное усиление стенки желчного пузыря при воспалении [6].

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 [13].

Систематический обзор Cai и Pfob (2025) показал, что большинство современных разработок ИИ в абдоминальном ультразвуке основаны на методах глубокого обучения (65%), при этом значительная часть исследований посвящена гепатобилиарной системе [14].

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 [10]. 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 проведения проспективных валидационных ис-пытаний для широкого внедрения ИИ в клиническую практику хирургии и гастроэнтерологии [11, 14].

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

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

Анализ проводился по нескольким направлениям:

Распознавание хирургических фаз на основе сверточных и рекуррентных нейронных сетей;

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

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

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

Видеообработка проводилась в постоперационном режиме на вычислительной платформе с поддержкой GPU-ускорения. Для каждой операции формировались временные метки фаз, автоматически определялись 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 (рис.1).

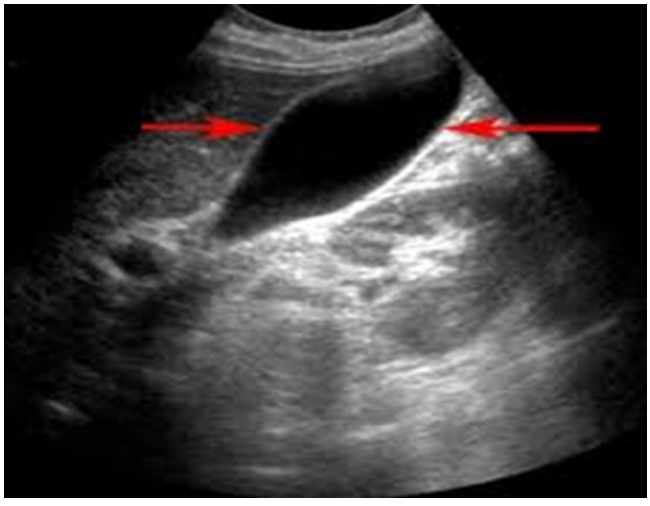


Рис.1. Сканограмма нормы желчного пузыря.
Fig. 1. Scanogram of the normal gallbladder.

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. Контуры 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 инфильтративных 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.2. представлен вариант УЗИ-картины холелитиаза.

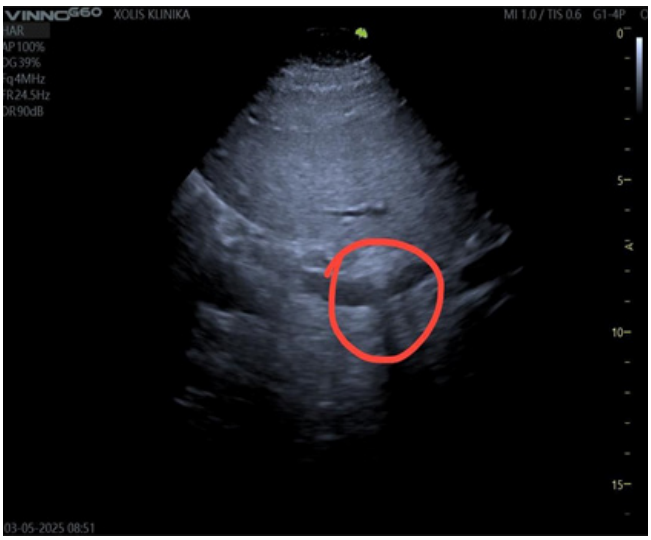


Рис.2. Вариант УЗИ-картины холелитиаза.
Fig. 2. A variant of ultra-sound image of cholelithiasis.

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. 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.3.



Рис.3. Классический вариант УЗИ-картины холелитиаза.
Fig. 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, выраженно 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.

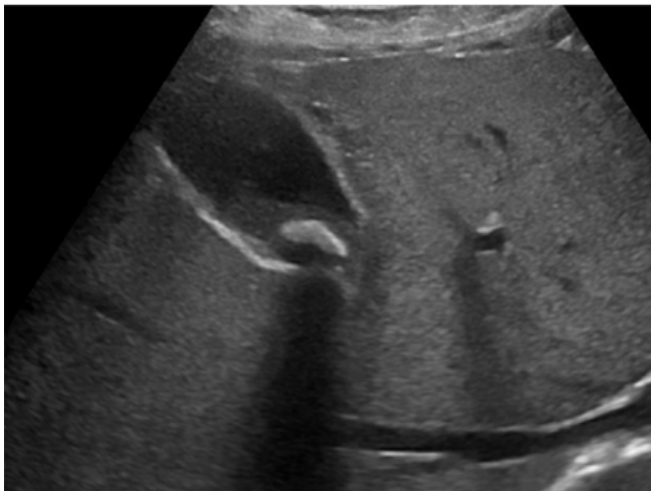


Рис.4. Сканограмма хронического калькулезного холецистита Fig. 4. Scanogram of chronic calculous cholecystitis

Анализ ультразвукового медицинского изображения с применением технологий искусственного интеллекта рис.4. 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, выраженно гиперэхогенное образование.

Указанное образование сопровождается формированием отчётливой дистальной акустической тени, что является характерным ультразвуковым признаком кальцифицированных структур. Стенка желчного пузыря в пределах доступной 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 выраженно гиперэхогенного образования с дистальной акустической тенью в просвете желчного пузыря является классическим ультразвуковым признаком нали-чия конкремента и указывает на холелитиаз (желчнокаменную болезнь). Отсутствие утолщения стенки желчного пузыря, как правило, не соответствует ультразвуковым критериям острого холецистита; однако для окончатель-ной оценки клинической значимости выявленных изменений требуется клинико-лабораторная корреляция и, при необходимости, динамическое ультразвуковое наблюдение.

Интересный случай представлен на рис.5.



Рис.5. Состояние после холецистэктомии. Холедохолитиаз. Fig. 5. Condition after cholecystectomy. Choledocholithiasis.

Анализ ультразвукового исследования органов брюшной полости с применением искусственного интеллекта (Рис.5). Представленное изображе-ние является ультразвуковым сканом органов брюшной полости, выпол-ненным в серо шкальном режиме. В центральной части изображения визуализируется анатомическая 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 выраженно 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 классиче-ских 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 во-прос 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 здра-воохранения.

Выводы. 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.

Список литературы:

1. 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.
2. Boccatonda, 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.
3. 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.
4. Ivanov, D., Cannata, D., Chin, K. A., et al. (2025). Evolution of Second-ary 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.
5. Li, H., Cai, Y. Y., Li, Q. S., et al. (2025). Differential Diagnosis of Gallbladder Cholesterol Polyps and Adenomas Using Contrast-Enhanced Ultra-sound-Morphology and Perfusion Features. Abdominal Radiology (New York), 50(3). doi:10.1007/s00261-025-05125-1.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Bektaş, M., Chia, C. M., Burchell, G. L., et al. (2024). Artificial Intelli-gence-Aided Ultrasound Imaging in Hepatopancreatobiliary Surgery: Where Are We Now?. Surgical Endoscopy, 38(9), 4869–4879. doi:10.1007/s00464-024-11130-0.
12. Ramai, D., & Collins, B. O. (2025). Deep Learning Methods in the Imag-ing of Hepatic and Pancreaticobiliary Diseases. Journal of Clinical Gastroenterology, 59(5), 405–411. doi:10.1097/MCG.0000000000002125.
13. Graumann, O., Cui, X. W., Goudie, A., et al. (2025). Artificial Intelligence in Abdominal, Gynecological, Obstetric, Musculoskeletal, Vascular and Inter-ventional Ultrasound. Ultrasound in Medicine & Biology, 51(7). doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2025.07.008.
14. 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.