

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБСТРУКТИВНОЙ ПАТОЛОГИИ ОБЩЕГО ЖЕЛЧНОГО ПРОТОКА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ УЛЬТРАСОНОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

© Лазаренко В.А.¹, Белозеров В.А.^{1,2}, Охотников О.И.^{1,2}, Бондарев Г.А.¹, Корневский Н.А.³,
Белозеров А.В.³, Григорьев Н.И.¹, Бобровская Е.А.¹

¹ Курский государственный медицинский университет (КГМУ)

Россия, 305041, Курская область, г. Курск, ул. К. Маркса, д. 3

² Курская областная многопрофильная клиническая больница (КОМКБ)

Россия, 305004, Курская область, г. Курск, ул. Сумская, 45а

³ Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ)

Россия, 305040, Курская область, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Цель: улучшение результатов дифференциальной диагностики обструктивной патологии общего желчного протока на основе результатов эндоскопической ультрасонографии (ЭУС) с использованием гибридных нечетких технологий принятия решений.

Материалы и методы. В исследование включены 173 пациента, лечившихся в Курской областной многопрофильной клинической больнице в 2013-2023 гг. Злокачественные опухоли общего желчного протока выявлены у 24 (13,9%) пациентов. Превалировал экзофитный тип холангиокарциномы, который диагностирован у 13 (54,2%) пациентов, инфильтративный тип диагностирован у 11 (45,8%) больных. Доброкачественная обструкция общего желчного протока диагностирована в 149 (86,1%) случаях. В подавляющем большинстве случаев выявлен холедохолитиаз – 97 (65,1%) больных. Доброкачественные стриктуры общего желчного протока обнаружены у 31 (20,8%) пациента, среди них преобладали рубцово-воспалительные стриктуры терминального отдела холедоха – 21 (67,7%) пациент. Послеоперационные стриктуры были у 10 (32,3%) больных. Компрессия общего желчного протока увеличенными лимфоузлами диагностирована у 10 (6,7%) пациентов, синдром Мирizzi – у 4 (2,7%) больных. Среди редких причин нарушения желчеоттока были холангит (4 чел.), билиодигестивные свищи (2 чел.), киста холедоха (1 чел.). Для решения плохо формализуемых задач дифференциальной диагностики обструктивной патологии общего желчного протока на основе анализа эндосонографических изображений на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета разработан гибкий математический аппарат – методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, используемый в данной работе. Математический аппарат интегрирует интеллект экспертов ультразвуковой диагностики, инженера-когнитолога и искусственного интеллекта.

Результаты. Разработаны информативные эндосонографические критерии диагностики обструктивных заболеваний общего желчного протока, систематизированные и представленные в виде референсных изображений: эталонных эндосонограмм и их реперных схем, которые максимально полно отражают характеристики патологических изменений. По результатам экспертной оценки определены коэффициенты уверенности в принадлежности референсных изображений к доброкачественной и злокачественной патологии, являющиеся основой диагностического алгоритма. Результаты математического моделирования определили уверенность в корректной диагностике патологических состояний с использованием синтезированных нечетких алгоритмов свыше 0,92, что является приемлемым результатом для клинического применения.

Закключение. Систематизация информативных ЭУС-критериев дифференциальной диагностики обструктивных заболеваний общего желчного протока, а также интеграция методов нечеткой логики в алгоритм принятия решений у этой категории больных позволяет объективизировать и улучшить результаты неинвазивной ЭУС-диагностики, обеспечивая ее эффективность на уровне не ниже 0,92.

Ключевые слова: обструктивная патология; общий желчный проток; эндоскопическая ультрасонография; гибридные нечеткие технологии.

Лазаренко Виктор Анатольевич – д-р мед. наук, профессор, ректор, зав. кафедрой хирургических болезней института непрерывного образования (ИНО), КГМУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0001-5258-5475. E-mail: kurskmed@mail.ru

Белозеров Владимир Анатольевич – канд. мед. наук, врач отделения эндоскопии, КОМКБ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0003-2028-746X. E-mail: b9102107495@yandex.ru (автор, ответственный за переписку).

Охотников Олег Иванович – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и терапии, КГМУ, г. Курск; зав. отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения № 2, КОМКБ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0002-6685-3183. E-mail: oleg_okhotnikov@mail.ru

Бондарев Геннадий Алексеевич – д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры хирургических болезней института непрерывного образования (ИНО), КГМУ, г. Курск. E-mail: gennadiy_bondarev@mail.ru

Корневский Николай Алексеевич – д-р тех. наук, профессор, зав. кафедрой биомедицинской инженерии, ЮЗГУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0003-2048-0956. E-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Белозеров Антон Владимирович – аспирант кафедры биомедицинской инженерии, ЮЗГУ, г. Курск. ORCID iD: 0009-0000-4720-8472. E-mail: antotedd@yandex.ru

Григорьев Николай Николаевич – д-р мед. наук, профессор кафедры хирургических болезней института непрерывного образования (ИНО), КГМУ, г. Курск. E-mail: grigorevnn@kursksmu.net

Бобровская Елена Анатольевна – д-р мед. наук, профессор кафедры хирургических болезней института непрерывного образования (ИНО), КГМУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0003-3898-5522. E-mail: bobrovskajaea@kursksmu.net

Одним из осложнений заболеваний гепатопанкреатодуоденальной зоны является обструкция терминального отдела общего желчного протока, которая характеризуется нарушением желчеоттока и развитием билиарной гипертензии [1]. Основной причиной обструкции желчных протоков является холедохолитиаз, являющийся проявлением желчнокаменной болезни и развивающийся в 8-20% случаев [2]. Повторяющиеся ущемления конкрементов в суженных местах желчных протоков приводят к рубцеванию трубчатых структур и формированию рубцово-воспалительных стриктур терминального отдела холедоха, которые также являются одной из распространенных причин желчной гипертензии. [3, 4]. Среди других этиологий билиарной обструкции необходимо отметить дистальную холангиокарциному, на которую приходится до 40% всех случаев первичного рака печени [5]. Дифференциация доброкачественных и злокачественных стриктур общего желчного протока требует сложной диагностической оценки и междисциплинарного подхода [6, 7].

В настоящее время благодаря совершенствованию высокоинформативных методов лучевой визуализации возможности диагностики причин холестаза и уровня обструкции билиарного тракта значительно расширились. Эндоскопическая ультрасонография (ЭУС) является наиболее чувствительным методом диагностики, позволяющим детально визуализировать желчные протоки на всем их протяжении и претендует на роль «золотого стандарта» в диагностике патологии внепеченочных желчных протоков [8]. Это преимущество ЭУС установлено как отечественными, так и зарубежными исследователями [7, 9, 10].

Вместе с тем особенностью ультразвуковых методов исследования, в особенности эндоскопического, является высокая оператор-зависимость и высокая доля субъективизма при интерпретации изображений. Методика требует длительного периода обучения, обширных знаний, развития мануальных навыков [11]. До настоящего времени при использовании любых аппаратов, вплоть до экспертного класса, сохраняется вероятность ошибки диагностики и субъективности трактовки [12].

Повышение точности анализа медицинских изображений требует комплексного подхода, включающего наряду с применением технологических инноваций информационных и интеллектуальных технологий.

Для решения задач распознавания образов, включая автоматизированную обработку изображений, в мировой практике существуют технологии, среди которых методы машинного обучения, дескрипторы и детекторы особых точек, методы, базирующиеся на глубоком обуче-

нии, методы, использующие нечеткую логику, а также методы, основанные на генетических алгоритмах [13-15]. Выбор соответствующего метода для распознавания образов является непростой задачей и проводится после предварительного разведочного анализа с учетом структуры исходных данных, а также возможных ограничений различных методов [16].

Работа с ультразвуковыми изображениями представляет определенные вызовы для методов распознавания образов из-за их специфических характеристик. Ультразвуковые изображения часто имеют низкое разрешение, шумы, артефакты, помехи, содержат множество неоднородных областей и наслаивающихся текстур и могут быть классифицированы как плохо структурированные данные. Для ультразвуковых изображений не всегда возможно создать строгое математическое определение и алгоритмическое описание исходных данных. Задача распознавания образов несколько усложняется при работе с эндосонограммами, что связано в первую очередь со сложностью накопления датасета в силу относительно небольшого количества выполняемых эндосонографических исследований в сравнении с другими методами лучевой визуализации. Большое разнообразие форм и деталей изображений, связанных с мануальными особенностями ЭУС и высокой зависимостью от операторов, затрудняет классификацию и сегментацию изображений, препятствуя активному использованию классических нейросетевых технологий, и в настоящее время задача, решаемая в нашей работе, не может быть эффективно реализована с использованием нейросетей.

В настоящее время активно развиваются гибридные технологии, объединяющие возможности человека и искусственного интеллекта. Гибридный интеллект представляет собой симбиоз сил человека и мощи вычислительных технологий, что позволяет решать сложные задачи более эффективно и точно. Это объединение позволяет использовать человеческое понимание, интуицию и креативность, здравый смысл, т.е. категории, не доступные для машинной техники, в сочетании с вычислительными возможностями и точностью компьютерных технологий. Гибридный интеллект считается очень перспективным направлением и является ключевым фактором в развитии технологий будущего [17, 18].

Опыт решения такого класса задач в условиях неопределенности исходных данных показал, что требуемое качество принятия медицинских решений может быть достигнуто при использовании гибридных технологий, включающих методы нечеткой логики, разработанные Лотфи Заде и его учениками, модели нечеткой оценки

уверенности врачебных решений Эдварда Шортлифа, методы разведочного анализа и экспертного оценивания, ориентированные на мягкие вычисления и получившие широкое распространение в настоящее время [19, 20]. Такой математический аппарат был разработан на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета и реализован в настоящей работе в рамках методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) [16]. Недостаток статистики в выбранной методологии компенсируется теоретическими и практическими знаниями экспертов, позволяющими формировать функции принадлежности к исследуемым классам состояний с учетом существенных теоретических и практических знаний. В свою очередь, функции принадлежности составляют основу высоконадежных решающих правил прогнозирования и медицинской диагностики, объединяющих достоинства статистических и экспертных методов обработки сложно структурированных данных.

В связи с этим целью исследования явилось улучшение результатов дифференциальной диагностики обструктивной патологии общего желчного протока на основе результатов эндоскопической ультрасонографии с использованием гибридных нечетких технологий принятия решений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2013 году в клиническую практику Курской областной клинической больницы была внедрена ЭУС. По настоящее время выполнено более 1000 исследований, более 800 из которых – панкреатобилиарной области. Использовалась эндоскопическая видеосистема EVIS EXERA II фирмы «Olympus» (Япония), оснащенная ультразвуковым процессором EU-ME1. Для осмотра использовались ультразвуковые видеогастроскопы GF UM160 с радиальным и GF UC140P-AL5 с конвексным датчиками с возможностью изменения частоты сканирования 7,5-20 МГц. Методика проведения ЭУС не отличалась от стандартной эндоскопии панкреатобилиарной зоны [22]. Манипуляции выполнялись в условиях общей анестезии в положении пациента лежа на левом боку. Безвоздушная среда в зоне сканирования создавалась как контактным методом с использованием баллона, заполненного водой, так и в заполненном водой органе.

По поводу обструктивной патологии общего желчного протока эндоскопию выполнили 173 пациентам. В исследование включены больные с клинико-лабораторными признаками обструкции желчных протоков. Из исследования

исключены пациенты, причиной периампулярной обструкции у которых явилась патология поджелудочной железы, большого сосочка двенадцатиперстной кишки или двенадцатиперстной кишки (ДПК). Ограничениями к выполнению ЭУС явились ранее выполненные резекционные вмешательства или патология, препятствующая проведению аппарата в ДПК.

Опухоли общего желчного протока выявлены у 24 (13,9%) пациентов, среди них женщин было 18 (75,0%), мужчин – 6 (25,0%), средний возраст составил 69,2±1,76 лет. При этом экзофитный тип холангиокарциномы встречался у 13 (54,2%) пациентов, инфильтративный – у 11 (45,8%) больных.

Доброкачественные обструктивные заболевания общего желчного протока диагностированы в 149 (86,1%) случаях. Среди всех пациентов с доброкачественной патологией преобладали женщины – 102 (68,5%) человека. Средний возраст этих пациентов составил 55,4±2,21 года. Среди них в подавляющем большинстве случаев выявлен холедохолитиаз – 97 (65,1%) больных. Доброкачественные стриктуры терминального отдела холедоха обнаружены у 31 пациента, что составило 20,8%. Среди доброкачественных стриктур преобладали стриктуры рубцово-воспалительного генеза – 21 (67,7%) пациент. Послеоперационные стриктуры были у 10 (32,3%) больных. Компрессия общего желчного протока увеличенными лимфоузлами диагностирована у 10 (6,7%) пациентов, синдром Мириizzi – у 4 (2,7%) больных. Среди редких причин нарушения желчеоттока были холангит (4 чел.), билиодигестивные свищи (2 чел.), киста холедоха (1 чел.). Окончательный диагноз устанавливался на основании данных гистологического исследования материала, полученного интраоперационно, данных цитологических исследований клеточного материала, полученного транспапиллярным доступом после эндоскопической папиллосфинктеротомии, ЭУС-контролируемой тонкоигольной пункции очаговых образований, при условии наблюдения за пациентами не менее 12 мес. после выписки из стационара. С целью анализа первичных данных производилась видеофиксация всех исследований с последующей архивацией информации на электронных носителях.

Согласно регламенту МСГНРП задачи дифференциальной диагностики этиологии обструкции общего желчного протока решаются при взаимодействии экспертов ультразвуковой диагностики, инженера-когнитолога, использующего математический аппарат нечеткой логики принятия решений. Знания, опыт и интеллект медицинских экспертов компенсируют недостаток статистических данных и используют накопленный опыт для экспертной оценки

изображений. Инженер-когнитолог проектирует и создает экспертную систему. Экспертная система решает задачи обучения с синтезом решающих правил для дифференциальной диагностики этиологии обструкции общего желчного протока. На этапе обучения используются программные модули разведочного анализа, многомерного анализа данных, метод группового учета аргументов, модуль реализации МСГНРП. Взаимодействие всех программных модулей системы, в том числе подсистемы обучения, обеспечивается алгоритмом управления процессом принятия решений. Ключевым элементом принятия решений для дифференциальной диагностики обструкции общего желчного протока являлись функции принадлежности к гипотезам (классам) с базовыми переменными, соответствующими информативным признакам дифференциальной диагностики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С целью реализации МСГНРП для дифференциальной диагностики обструктивной патологии общего желчного протока проведен детальный анализ информативных эхографических критериев, идентифицирующих злокачественную и доброкачественную патологию.

К критериям, идентифицирующим злокачественное поражение общего желчного протока, относили:

- неоднородное гипоехогенное образование в просвете протока с неровными нечеткими контурами;
- форма образования неправильная;
- акустическая тень отсутствует;
- связь образования со стенкой протока протяженная;
- наружная поверхность стенки протока ровная;
- слоистая структура стенки протока нарушена;
- утолщение стенок протока асимметричное;
- сужение просвета протока без изменения его калибра;
- «обрыв протока»;
- гипоехогенная инфильтрация окружающих тканей.

К критериям, идентифицирующим доброкачественное поражение общего желчного протока, относили:

- однородное гиперэхогенное образование в просвете протока с ровными четкими контурами;
- форма образования правильная;
- акустическая тень присутствует;

- контакт образования со стенкой протока на ограниченном участке;
- наружная поверхность стенки протока ровная;
- слоистая структура стенки протока не нарушена;
- утолщение стенок протока не выражено;
- сужение протока симметричное, постепенное;
- окружающие ткани не изменены.

Особенностью используемой методологии являются представление эхографических критериев и их систематизация в виде эталонных сонограмм, которые наиболее полно отражают характеристики диагностируемых патологических изменений, что позволяет наглядно и максимально точно ориентировать пользователя в правильном принятии решений и идентифицировать выявленную патологию. Кроме того, такой подход позволяет при принятии решения использовать возможности зрительного анализатора человека, который, несмотря на развитие современных технологий интеллектуального анализа образов, остается непревзойденным и уникальным инструментом. Более того, человеческий зрительный анализатор обладает феноменальной способностью воспринимать и анализировать сложные образы и контексты, а также работать в условиях переменного освещения, изменяющихся настроек эхосканеров, изменяющихся фонов, а также учитывать другие аспекты, затрудняющие работу систем распознавания образов, что делает его более эффективным в распознавании и интерпретации информации, чем другие системы.

Эталонные сонограммы обструктивной патологии общего желчного протока сформированы из архивных видеозаписей эндосонографических исследований, которые были выполнены пациентам с характерной патологией при условии верификации диагноза морфологически, интраоперационно или с использованием других методов диагностики. При формировании изображений из видеороликов использовались разработанные универсальные алгоритмы, позволяющие выделить наиболее однородные, четкие, незашумленные фрагменты без артефактов и наложения близко расположенных анатомических структур. В область интереса включены изображения структуры патологического очага, содержащие максимально возможный набор характерных эхопризнаков. Основным моментом алгоритма выделения информативных областей интереса из кадрированных изображений являлся выбор участка изображения структуры наиболее близко расположенного к источнику эхосигнала, где разрешение эхосканера максимально. Кроме того, анализировались изображения структуры патологических образований, которые визуализировались идентич-

ными из продольного и поперечного сканов, что свидетельствовало об объективном отображении их структур, изображение которых не ухудшено артефактами, помехами и витиеватыми тангенциальными срезами. Для улучшения визуального восприятия и повышения качества сравнительного анализа исследуемой патологии с образцами набор референсных изображений, помимо эталонных эндосонограмм, включал их реперные схемы, отражающие как поперечные, так и продольные эхосканы.

На рисунке 1 представлены изображения эхографической структуры общего желчного протока при холедохолитиазе. В общем желчном протоке видно гиперэхогенное образование с гладкими четкими контурами и акустической тенью. Стенка желчного протока и перихоледохеальные структуры не изменены.

На рисунке 2 представлены изображения эхографической структуры общего желчного протока при холедохолитиазе с рыхлой эхографической структурой конкремента. В общем желчном протоке гиперэхогенное/изоэхогенное образование, контуры неровные, но четкие, акустическая тень не выражена. Стенка желчного протока и перихоледохеальные структуры не изменены.

На рисунке 3 представлены изображения эхографической структуры общего желчного протока

при доброкачественной рубцово-воспалительной стриктуре. В протоке ограниченное симметричное плавное сужение, слоистая структура стенок протока сохранена, их утолщение не выражено, внутренних и наружных контуры протока ровные, перихоледохеальные структуры не изменены.

На рисунке 4 изображения эхографической структуры общего желчного протока при холангиокарциноме. В общем желчном протоке гипоехогенное однородное образование с неровными контурами, образующее асимметричное крутое сужение типа «обрыва протока», слоистая структура стенок за сужением не определяется, утолщение стенок выражено, внутренний контур протока неровный, перихоледохеальные структуры не изменены.

На рисунке 5 представлены изображения эхографической структуры общего желчного протока при холангиокарциноме с инвазивным характером роста. В общем желчном протоке гипоехогенное неоднородное образование с неровными контурами, образующее асимметричное крутое сужение типа «обрыва протока», слоистая структура стенок за сужением нарушена, отмечается перихоледохеальная гипоехогенная инфильтрация.

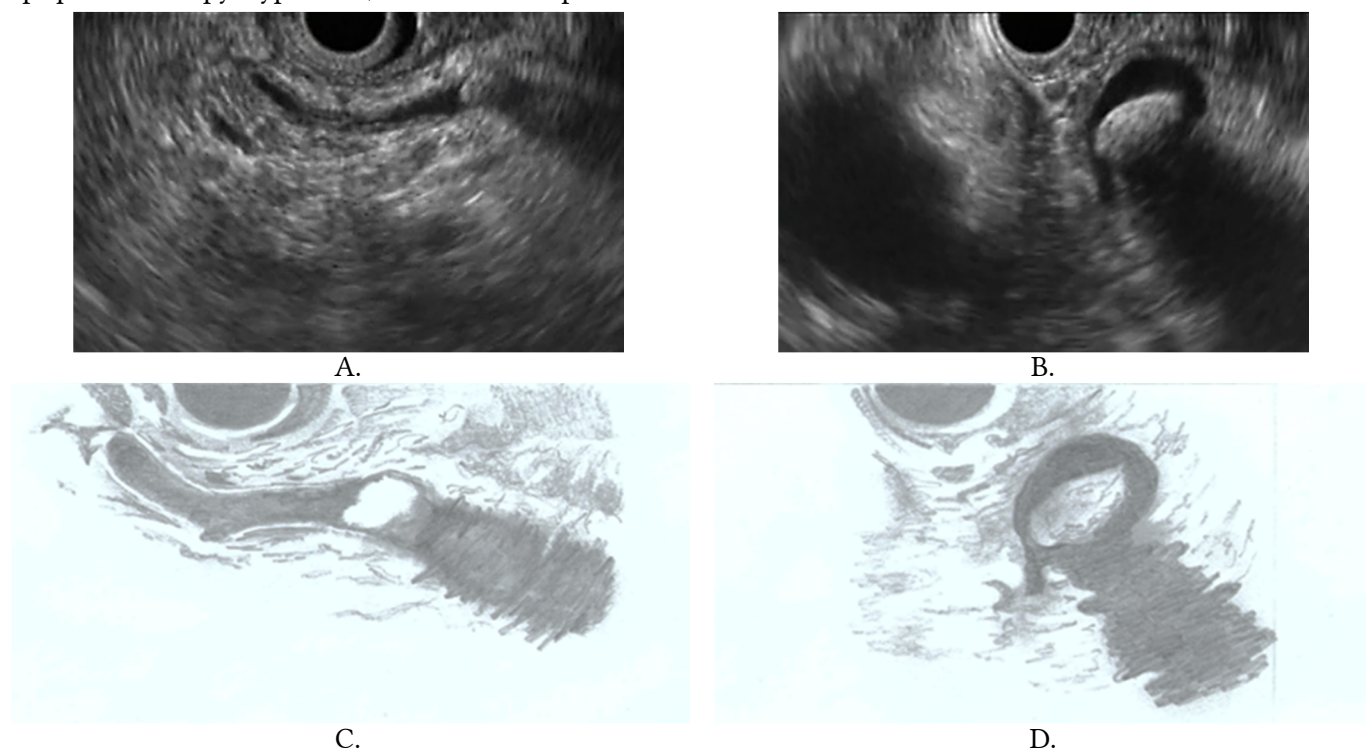


Рис. 1. Изображения эхографической структуры общего желчного протока при холедохолитиазе: А – эталонная эндосонограмма продольного изображения, В – эталонная эндосонограмма поперечного изображения, С – реперная схема продольного изображения, D – реперная схема поперечного изображения.

Fig. 1. Images of the echographic structure of the common bile duct in cholelithiasis: A – reference endosonogram of the longitudinal image, B – reference endosonogram of the transverse image, C – reference scheme of the longitudinal image, D – reference scheme of the transverse image.

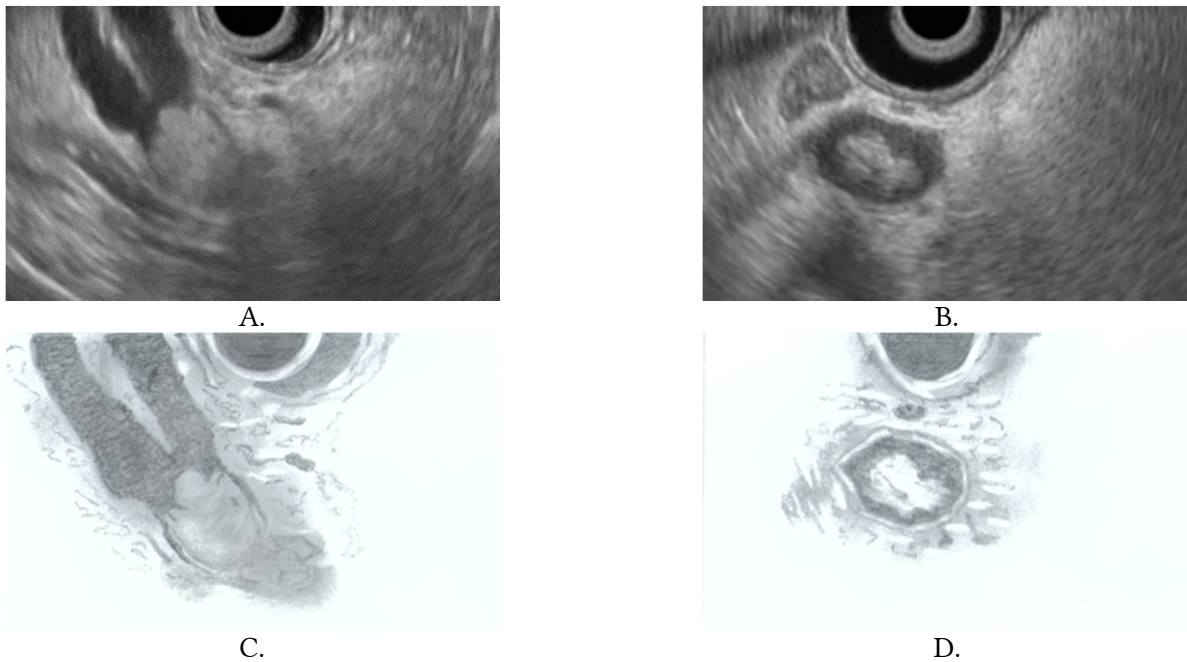


Рис. 2. Изображения эхографической структуры общего желчного протока, содержащего «рыхлый» конкремент: А – эталонная эндосонограмма продольного изображения, В – эталонная эндосонограмма поперечного изображения, С – реперная схема продольного изображения, D – реперная схема поперечного изображения.

Fig. 2. Images of the echographic structure of the common bile duct containing a "loose" concretion: A – reference endosonogram of the longitudinal image, B – reference endosonogram of the transverse image, C – reference scheme of the longitudinal image, D – reference scheme of the transverse image.

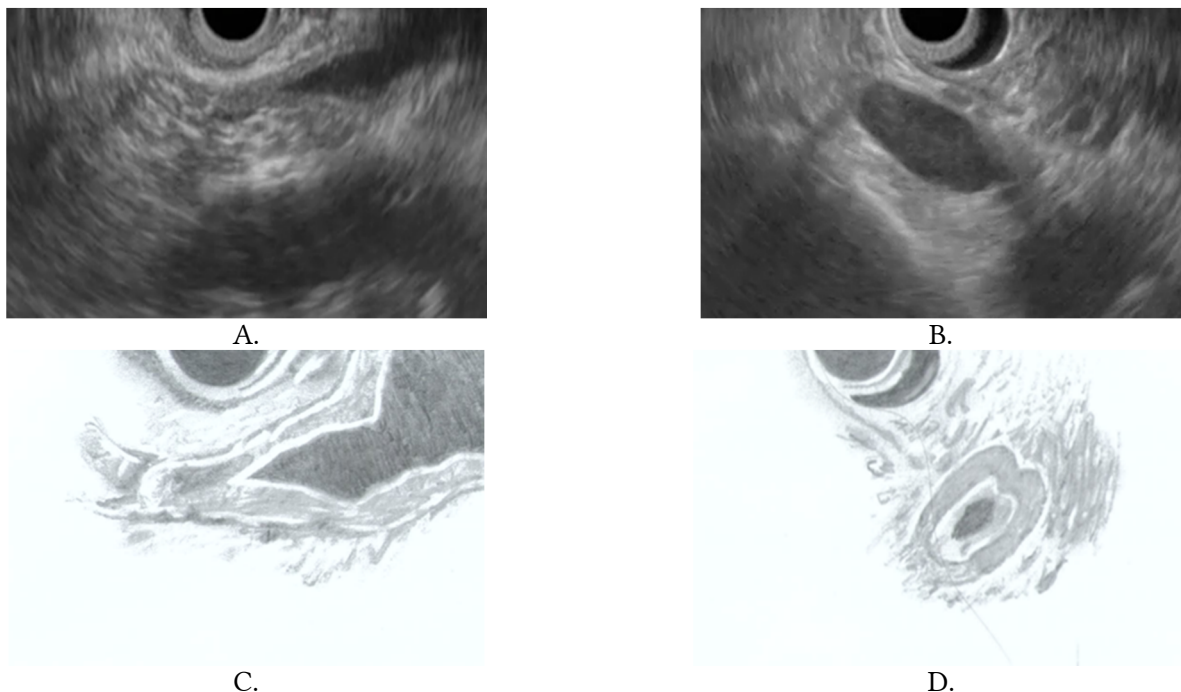


Рис. 3. Изображения эхографической структуры общего желчного протока при доброкачественной рубцово-воспалительной стриктуре: А – эталонная эндосонограмма продольного изображения, В – эталонная эндосонограмма поперечного изображения, С – реперная схема продольного изображения, D – реперная схема поперечного изображения.

Fig. 3. Images of the echographic structure of the common bile duct in benign cicatricial-inflammatory stricture: A – reference endosonogram of the longitudinal image, B – reference endosonogram of the transverse image, C – reference scheme of the longitudinal image, D – reference scheme of the transverse image.

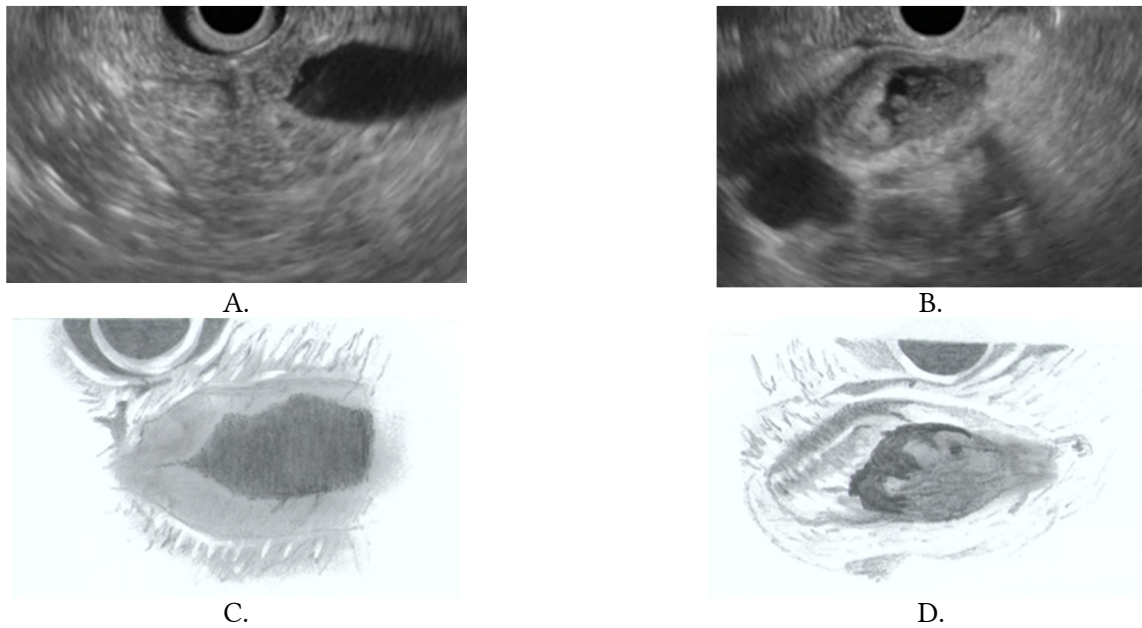


Рис. 4. Изображения эхографической структуры общего желчного протока при холангиокарциноме: А – эталонная эндосонограмма продольного изображения, В – эталонная эндосонограмма поперечного изображения, С – реперная схема продольного изображения, D – реперная схема поперечного изображения.

Fig. 4. Images of the echographic structure of the common bile duct in cholangiocarcinoma: A – reference endosonogram of the longitudinal image, B – reference endosonogram of the transverse image, C – reference scheme of the longitudinal image, D – reference scheme of the transverse image.

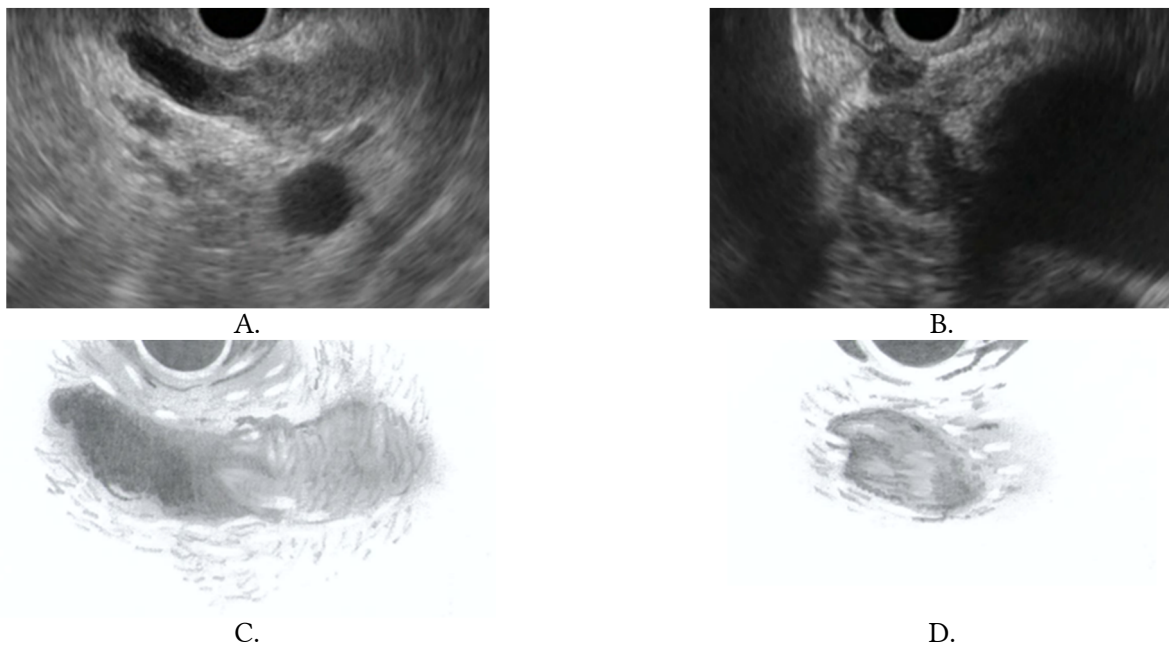


Рис. 5. Изображения эхографической структуры общего желчного протока при холангиокарциноме с инвазивным характером роста: А – эталонная эндосонограмма продольного изображения, В – эталонная эндосонограмма поперечного изображения, С – реперная схема продольного изображения, D – реперная схема поперечного изображения.

Fig. 5. Images of the echographic structure of the common bile duct in cholangiocarcinoma with an invasive growth pattern: A – reference endosonogram of the longitudinal image, B – reference endosonogram of the transverse image, C – reference scheme of the longitudinal image, D – reference scheme of the transverse image.

Таблица 1

Table 1

Коэффициенты уверенности по классу ωP «Злокачественная обструкция общего желчного протока»Confidence coefficients for the class ωR "Malignant obstruction of the common bile duct"

Эталон Standard	C_1 S_1	C_2 S_2	C_3 S_3	C_4 S_4	C_5 S_5	C_6 S_6
Θ_1 E_1	0	0	0.15	0.45	0.70	0.95
Θ_2 E_2	0	0	0.18	0.50	0.70	0.95
Θ_3 E_3	0	0	0.20	0.45	0.65	0.90
Θ_4 E_4	0	0	0.15	0.48	0.62	0.92
Θ_5 E_5	0	0	0.10	0.45	0.60	0.90
Θ_6 E_6	0	0	0.15	0.50	0.72	0.92
Θ_7 E_7	0	0	0.18	0.38	0.60	0.85
Θ_8 E_8	0	0	0.10	0.48	0.65	0.95
Среднее Mean	0	0	0.15	0.46	0.65	0.92

Примечание: C_i – эталонная эндосонограмма с номером i ; Θ_j – эксперт с номером j .Note: S_i – a reference endosonogram with number i ; E_j – an expert with number j .

Таблица 2

Table 2

Коэффициенты уверенности по классу ωD «Доброкачественная обструкция общего желчного протока»Confidence coefficients for the class ωD "Benign obstruction of the common bile duct"

Эталон Standard	C_1 S_1	C_2 S_2	C_3 S_3	C_4 S_4	C_5 S_5	C_6 S_6
Θ_1 E_1	0	0.98	0.80	0.58	0.20	0
Θ_2 E_2	0	0.98	0.78	0.60	0.20	0
Θ_3 E_3	0	0.99	0.70	0.48	0.15	0
Θ_4 E_4	0	0.96	0.75	0.55	0.10	0
Θ_5 E_5	0	0.98	0.70	0.50	0.10	0
Θ_6 E_6	0	0.98	0.75	0.55	0.12	0
Θ_7 E_7	0	0.96	0.75	0.62	0.15	0
Θ_8 E_8	0	0.98	0.70	0.60	0.18	0
Среднее Mean	0	0	0.98	0.75	0.56	0

Примечание: C_i – эталонная эндосонограмма с номером i ; Θ_j – эксперт с номером j .Note: S_i – a reference endosonogram with number i ; E_j – an expert with number j .

В соответствии с рекомендациями МСГНРП следующий этап синтеза решающих правил дифференциальной диагностики обструктивной злокачественной и доброкачественной патологии общего желчного протока предполагает экспертное оценивание эталонных эндосонограмм с определением коэффициентов уверенности в их принадлежности к классам «злокачественная обструкция» (класс ωP) и «доброкачественная обструкция общего желчного протока» (класс ωD). Экспертное оценивание проводилось экспертами ультразвуковой диагностики, ориентированными в патологии панкреатобилиарной зоны по технологии Дельфи. Соответствующие коэффициенты уверенности представлены в нечетких решающих таблицах 1 и 2.

Коэффициенты уверенности дают основание для расположения эталонов в виде визуальной шкалы, где изображения расположены в порядке нарастания уверенности в принадлежности отображенной патологии к злокачественной (класс ωP). Таким образом, с учетом мнений высококвалифицированных экспертов и структуры данных решаемой задачи была построена шкала интервалов S , где номерам эталонных эндосонограмм типовых эхографических структур были присвоены числовые значения от 1 до 6 с учетом того, что с ростом этих чисел увеличивается уверенность в принимаемых решениях по классу ωP (рис. 6).

В качестве единицы измерений выбран отрезок шкалы величиной 0,1. Используя метод Дельфи, эксперты на интервальной шкале S по-

строили графики функций принадлежности к классам ω_P и ω_D , приведенные на рисунке 7, где по оси ординат отложена уверенность.

Аналитически графики функций принадлежности описываются выражениями:

$$\mu_{\omega_D}(S) = \begin{cases} 0, & \text{если } S \leq 1 \\ 0.98S - 0.98, & \text{если } 1 < S \leq 2 \\ -0.245S + 1.47, & \text{если } 2 < S \leq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_P}(S) = \begin{cases} 0, & \text{если } S \leq 2 \\ 0.242S - 0.484, & \text{если } 2 < S \leq 5.8 \\ 0.92, & \text{если } 5.8 < S \leq 6 \end{cases}$$

Частные уверенности в исследуемых классах состояний $l=D, P$ определяется соответствующими функциями принадлежности:

$$U_{\omega_D} = \mu_{\omega_D}(S) \quad (1)$$

$$U_{\omega_P} = \mu_{\omega_P}(S) \quad (2)$$

Алгоритм диагностики используется следующим образом. Пользователь – врач ультразвуковой диагностики в процессе ЭУС находит

наиболее оптимальное изображение визуализируемого патологического очага и идентифицирует его местоположение на шкале интервалов S с расчетом соответствующих значений функций принадлежности, которые определяют уверенность по дифференцируемым классам состояний. Принятие решения о характере патологических изменений осуществляется по максимальному значению уверенности.

Анализ построенных функций принадлежности показал, что их использование в решающих правилах дает недопустимо широкую зону неопределенных решений и низкую чувствительность по классу ω_P в диапазоне с близкими по значению коэффициентами уверенности, соответствующими интервалу на оси абсцисс $S4-S5$ (доброкачественная стриктура общего желчного протока и холангиокарцинома с инфильтративным типом роста). С учетом этого для надежной дифференциальной диагностики доброкачественных рубцовых стриктур и холангиокарциномы с инфильтративным типом

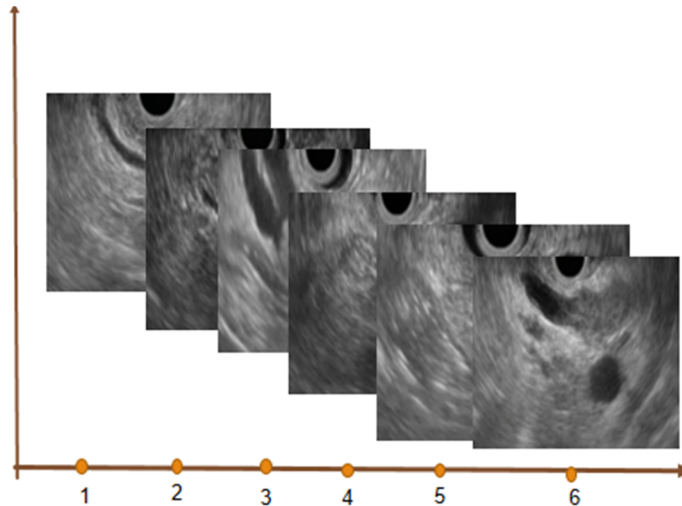


Рис. 6. Шкала интервалов S .

Fig. 6. The scale of intervals S .

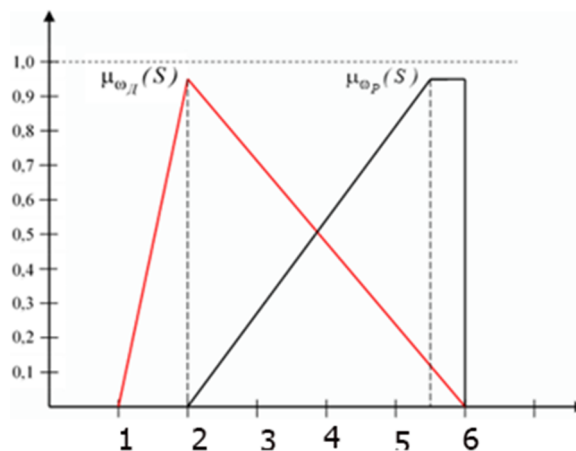


Рис. 7. Графики функций принадлежности к классам ω_P «Злокачественная обструкция общего желчного протока» и ω_D «Доброкачественная обструкция общего желчного протока».

Fig. 7. Graphs of the functions belonging to the classes of "Malignant obstruction of the common bile duct" and "Benign obstruction of the common bile duct".

роста, помимо основных сонографических характеристик, отраженных на референсных изображениях, дополнительно использовались эхо-признаки, которые невозможно отобразить на эталонных изображениях. В эту же группу включены признаки с количественными характеристиками, наглядное отображение которых также сложно реализовать на эталонных эндо-сонограммах. Пространство дополнительных информативных признаков X_i получено с учетом данных литературы и собственных наблюдений и включало: x_1 – утолщение одной из стенок желчного протока более 3,5 мм, x_2 – протяженность стриктуры более 14 мм; x_3 – угол, образованный сужающимися стенками холедоха, превышающий 90 градусов; x_4 – сосудистая инвазия; x_5 – метастатический характер лимфаденопатии при ее наличии [21-23]. На рисун-

ках 8, 9 представлены злокачественные стриктуры общего желчного протока с характерными дополнительными эхографическими критериями злокачественности.

Для указанных эхографических критериев были определены частотности их встречаемости у пациентов с доброкачественными и злокачественными стриктурами общего желчного протока, которые служили экспертам, синтезирующим гибридные нечеткие решающие правила, ориентиром в выборе соответствующих коэффициентов уверенности. На основании экспертной оценки получены коэффициенты уверенности KU_i в злокачественном характере обструкции общего желчного протока (класс ω_P): $KU_1=0,65$; $KU_2=0,6$; $KU_3=0,60$; $KU_4=0,85$; $KU_5=0,75$.

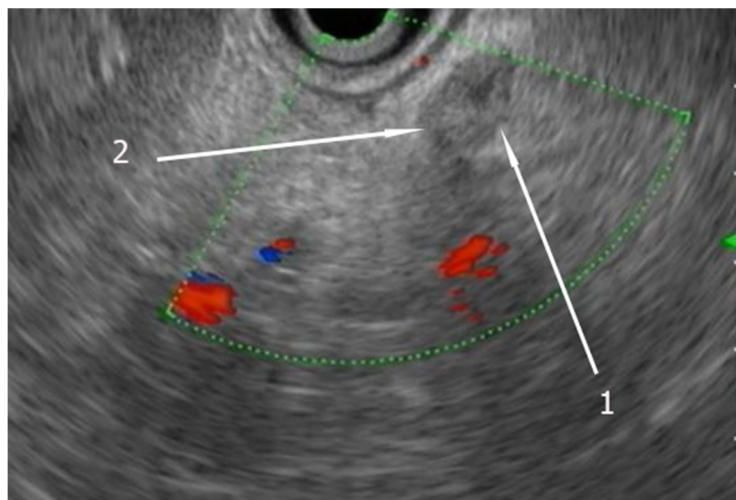


Рис. 8. Холангиокарцинома общего желчного протока; 1 – общий желчный проток с резко утолщенными стенками, 2 – толщина одной из стенок более 3,5 мм.

Fig.8. Cholangiocarcinoma of the common bile duct; 1 – the common bile duct with sharply thickened walls, 2 – the thickness of one of the walls is more than 3.5 mm.



Рис. 9. Холангиокарцинома общего желчного протока; 1 – расширенный общий желчный проток, 2 – угол, образованный сужающимися стенками общего желчного протока, превышает 90°.

Fig. 9. Cholangiocarcinoma of the common bile duct; 1 – expanded common bile duct, 2 – the angle formed by the narrowing walls of the common bile duct exceeds 90°.

Для систематизации дополнительных эхо-признаков использовались итерационные нечеткие модели Е. Шортлифа. Дополнительные признаки имеют двоичное кодирование: 0 – признак отсутствует (не соответствует выбранному условию); 1 – признак присутствует (соответствует выбранному условию). При наличии нескольких информативных признаков из этой группы уверенность в ωP определяется агрегацией KY_i . С учетом свойств выбранных информативных признаков агрегация осуществляется с использованием итерационного диагностического правила вида:

$$UD_{\omega p}(i+1) = UD_{\omega p}(i) + KY_{i+1}(1 - UD_{\omega p}),$$

где $UD_{\omega p}(1) = KY_1$.

В ходе математического моделирования было показано, что по наиболее часто встречающимся значениям информативных признаков уверенность в правильной классификации по классу «Злокачественная стриктура общего желчного протока» при пороге срабатывания 0,93 превышает величину 0,95.

Финальная уверенность, учитывающая дифференциацию по эталонным эндосонограммам и дополнительным признакам по классу ωP , определяется выражением (6):

$$UF_{\omega p} = \begin{cases} U_{\omega p}, & \text{если } S < 4,5; \\ U_{\omega p} + UD_{\omega p} - U_{\omega p} \cdot UD_{\omega p}, & \text{если } S \geq 4,5. \end{cases} \quad (6)$$

Диагностическую эффективность, отражающую точность работы решающих правил, определяли для класса ωP в группе пациентов со злокачественной патологией общего желчного протока из 22 человек. Группа пациентов альтернативного класса включала 62 человека с другой патологией панкреатобилиарной зоны, в том числе с доброкачественными стриктурами общего желчного протока. Контроль работы решающего правила (2) определялся по количеству ошибок, совершаемых этим правилом по отношению к альтернативному классу. Результаты контрольных испытаний приведены в таблице 3.

По результатам срабатывания решающих правил определялись такие показатели качества классификации, принятые в теории распознавания образов, как диагностическая специфичность, диагностическая чувствительность и диагностическая эффективность.

Согласно таблице показатель чувствительности, характеризующий качество диагностики решающего правила для класса ωP , равен 0,91, показатель специфичности равен 0,97, соответственно показатель диагностической эффективности – 0,93. Приведенные расчеты подтверждают результаты математического моделирования и экспертного оценивания.

Таким образом, сформированная визуальная шкала эхографической структуры заболеваний общего желчного протока на основе эталонных эндосонограмм и их реперных схем позволяет идентифицировать патологические изменения, являющиеся причиной билиарной обструкции.

Наиболее сложной для дифференциальной диагностики патологией общего желчного протока являются рубцово-воспалительные стриктуры и холангиокарциномы с инфильтративным типом роста, коэффициенты которых имеют близкие значения, что определяет недопустимо широкую зону неопределенных решений и низкую чувствительность по классу ωP . Настоящее исследование показывает, что для дифференциации этих патологических состояний, помимо визуальной диагностики на основе референсных изображений, необходимо дополнительно учитывать эхопризнаки, которые невозможно отобразить на эталонных эндосонограммах и их реперных схемах. Для агрегации дополнительных информативных эхопризнаков рационально использовать итерационные нечеткие модели Е. Шортлифа.

Систематизация информативных ЭУС-критериев дифференциальной диагностики обструктивных заболеваний общего желчного протока, а также интеграция методов нечеткой логики в алгоритм принятия решений у этой категории больных позволяет объективизировать и улучшить результаты неинвазивной ЭУС-диагностики, обеспечивая ее эффективность на уровне не ниже 0,92.

Используемая стратегия на основе рациональной систематизации эндосонографических критериев дифференциальной диагностики с использованием методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил имеет потенциал для ее реализации в диагностике патологии смежной локализации.

Таблица 3

Table 3

Результаты срабатывания решающих правил

The results of triggering the decisive rules

Пациенты Patients		Результаты наблюдения Results	
		Положительные Positive	Отрицательные Negative
ωP	$N_p = 22$	20	2
	$N_{ap} = 62$	2	60

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Лазаренко В.А. – критическая оценка рукописи с внесением ценного замечания интеллектуального содержания; Белозеров В.А. – написание текста, обработка материала по патологии общего желчного протока; Охотников О.И., Григорьев Н.Н. – редактирование, дизайн окончательного варианта статьи; Бондарев Г.А., Бобровская Е.А. – редактирование, обработка текста и иллюстрированного материала; Корневский Н.А. – написание текста по методу синтеза гибридных нечетких решающих правил и созданию нечеткой гибридной модели дифференциальной диагностики патологии общего желчного протока; Белозеров А.В. – разработка нечеткой гибридной модели, систематизация материала, сравнение с литературными данными.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ратников В.А., Скульский С.К. Магнитно-резонансная томография в лучевой диагностике обструкции дистального отдела общего желчного протока. *Клиническая больница*. 2015;14(4):42–52 [Ratnikov V.A., Skulskiy S.K. MRI of diagnosis obstruction of the distal part of the common bile duct. *The hospital*. 2015;14(4):42–52 (in Russ.)]. EDN: VJXBZ.
2. Гарелик П.В., Милешко М.И., Дешук А.Н. Транспапиллярные, малоинвазивные и традиционные технологии при доброкачественной обструкции общего желчного протока. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2021;19(5):496–500 [Harelik P.V., Mileshko M.I., Dziashuk A.N. Transpapillary, miniinvasive and traditional techniques in benign obstruction of the common bile duct. *Journal of the grodno state medical university*. 2021;19(5):496–500 (in Russ.)]. DOI: 10.25298/2221-8785-2021-19-5-496-500. EDN: INWJNE.
3. Переходов С.Н., Долгов О.А., Ванюшин П.Н., Григорьев К.Ю. Эндохирургическое лечение желчно-каменной болезни, осложненной холедохолитиазом и стриктурой дистального отдела холедоха. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2008;4(4):101–104 [Perekhodov S.N., Dolgov O.A., Vanjushin P.N., Grigorjev K.Yu. Endosurgical treatment of gall-stone disease complicated by choledocholithiasis and distal structure of common bile duct. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2008;4(4):101–104 (in Russ.)]. EDN: KPHLGP.
4. Stinton L.M., Shaffer E.A. Epidemiology of gallbladder disease: cholelithiasis and cancer. *Gut Liver*. 2012;6(2):172–187. DOI: 10.5009/gnl.2012.6.2.172.
5. Бредер В.В., Базин И.С., Косырев В.Ю., Ледин Е.В. Практические рекомендации по лечению билиарного рака. *Злокачественные опухоли*. 2020;10(32):475–491 [Breder V.V., Bazin I.S., Kosyrev V.Yu., Ledin E.V. Practical recommendations for the drug treatment of biliary cancer. *Zlokachestvennye opukholi*. 2020;10(32):475–491 (in Russ.)]. DOI: 10.18027/2224-5057-2020-10-3s2-26. EDN: CLBQQH.
6. Dorrell R., Pawa S., Zhou Y., Lalwani N., Pawa R. The Diagnostic Dilemma of Malignant Biliary Strictures. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(5):337. DOI: 10.3390/diagnostics10050337.
7. Fernandez Y., Viesca M., Arvanitakis M. Early Diagnosis and Management of Malignant Distal Biliary Obstruction: A Review On Current Recommendations And Guidelines. *Clin Exp Gastroenterol*. 2019;5(12):415–432. DOI: 10.2147/CEG.S195714.
8. Фомичева Н.В., Ульянов Д.Н. Диагностика стриктур внепеченочных желчных протоков: оптимальные варианты решения. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2014;106(6):66–72 [Fomicheva N.V., Ulyanov D.N. Diagnosis strictures extrahepatic bile ducts: the optimal solution. *Experimental and clinical gastroenterology journal*. 2014;106(6):66–72 (in Russ.)]. EDN: SZUURT.
9. Шабунин А.В., Тавобилов М.М. Роль эндосонографического исследования в определении возможности эндобилиарного стентирования у больных с опухолевым поражением периампулярной зоны. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2013;21(4):95–103 [Chabounine A.V., Tavobilov M.M. Endoscopic ultrasound role of research in the determination of the possibility endo-biliary stenting in patients with neoplastic lesions periaampulary zone. *I.P. Pavlov Russian medical biological herald*. 2013;21(4):95–103 (in Russ.)]. EDN: RVWJPP.
10. Шабунин А.В., Бедин В.В., Тавобилов М.М., Карпов А.А., Дроздов П.А., Коржева И.Ю. Оптимизация лечебно-диагностической тактики у больных с холедохолитиазом. *Московский хирургический журнал*. 2018;61(3):24. [Shabunin A.V., Bedin V.V., Tavobilov M.M., Karpov A.A., Drozdov P.A., Korzheva I.Yu. Optimization of therapeutic and diagnostic tactics in patients with choledocholithiasis. *Moscow surgical journal*. 2018;61(3):24 (in Russ.)]. EDN: WXEQNS.
11. Hawes R.H., Fockens P. *Endosonography*. Elsevier Inc., 2006. 329 p.
12. Щедров Д.Н., Соколов С.В., Соколов А.В., Луговкин А.В., Виноградова А.А., Морозов Е.В. Методы объективизации ультразвукового исследования при острых заболеваниях органов мошонки. *Вестник Российского научного центра рентгенодиагностики*. 2018;18(4):131–147 [Shedrov D.N., Sokolov S.V., Sokolov A.V., Lugovkin A.V., Vinogradova A.A., Morozov E.V. Methods of objectification of ultrasound examination for acute scrotum syndrome. *Vestnik of the russian scientific center of roentgenoradiology*. 2018;18(4):131–147 (in Russ.)]. EDN: YZAWXJ.

13. Бродская Ю.А. Математические методы и типы задач распознавания образов и применение этих методов. *Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы Международной научной конференции, Саратов, 30 июня 03 июля 2014 года*. Саратов: ИЦ «Наука», 2014:66-70. [Brodskaya Yu.A. Mathematical methods and types of pattern recognition tasks and the application of these methods. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Saratov, 30 June – 03 July 2014*. Saratov: ITs "Nauka", 2014:66-70 (in Russ.)].
14. Краснобаев Е.А., Чистобаев Д.В., Малышев А.Л. Сравнение бинарных дескрипторов особых точек изображений в условиях искажений. *Компьютерная оптика*. 2019;43(3):434–445 [Krasnabayeu E.A., Chistabayeu D.V., Malyshev A.L. Comparison of binary feature points descriptors of images under distortion conditions. *Computer optics*. 2019;43(3): 434–445 (in Russ.)]. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-3-434-445. EDN: FBYOVH.
15. Сулавко А.Е., Еременко А.В. Метод сжатия собственных областей классов идентифицируемых образов в пространстве малоинформативных признаков. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2014;(2):102–109 [Sulavko A.E., Eremenko A.V. Compression method of own areas of identified classes of images in the space of signs that contains small portions of information. *Artificial intelligence and decision making*. 2014;(2):102–109 (in Russ.)]. EDN: SFBOKL.
16. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. *Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений*. Старый Оскол: ТНТ; 2019. 472 с. [Korenevskiy N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. *Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems*. Staryy Oskol: TNT; 2019. 472 p. (in Russ.)].
17. Карякин В.В. Гибридные интеллектуальные системы как симбиоз естественного и искусственного интеллектов. *Россия: тенденции и перспективы развития: Ежегодник. Материалы XXI Национальной научной конференции с международным участием, Москва, 16–17 декабря 2021 года*. Отв. редактор В.И. Герасимов. Том Выпуск 17. Часть 1. Москва: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2022. С. 652-655. [Karyakin V. V. Hybrid intelligent systems as a symbiosis of natural and artificial intelligence. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya: Yezhegodnik. Materialy XXI Natsional'noy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*, Moscow, 16–17 dec 2021. Editor, V.I. Gerasimov. Vol. 17. Pt 1. Moscow: Institut nauchnoy informatsii po obshchestvennym naukam RAN, 2022. P. 652-655].
18. Анохин К.В., Алмазов А.А., Зингерман Б.В., Рыжов А.П. Тайны искусственного интеллекта. Материалы XI Международного конгресса «ОргЗдрав 2023» Москва, 7-9 июня. [Anokhin K.V., Almazov A.A., Zingerman B.V., Ryzhov A.P. The secrets of artificial intelligence. *Materialy XI Mezhdunarodnogo kongressa "OrgZdrav 2023"*. URL: <http://congress.orgzdrav.com> (Accessed December 09, 2023)
19. Shortliffe E.H., Cimino J.J. *Biomedical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine*. London: Springer London. 965 p. DOI: 10.1186/1475-925X-5-61.
20. Тарасов В.В. Лотфи Заде и Россия: страницы биографии и научное наследие. *Мягкие измерения и вычисления*. 2018;5(4):21–25 [Tarasov V.B. Lotfi Zadeh and Russia: biography pages and scientific heritage. *Soft measurements and computing*. 2018;5(4): 21–25 (in Russ.)]. EDN: YMBGHR.
21. Khashab M.A., Fockens P., Al-Haddad M.A. Utility of EUS in patients with indeterminate biliary strictures and suspected extrahepatic cholangiocarcinoma (with videos). *Gastrointest Endosc*. 2012;76(5):1024–1033. DOI: 10.1016/j.gie.2012.04.451.
22. Nikolaidis P., Hammond N.A., Day K., Yaghmai V., Wood CG 3rd, Mosbach D.S., Harmath C.B., Taffel M.T., Horowitz J.M., Berggruen S.M., Miller F.H. Imaging features of benign and malignant ampullary and periampullary lesions. *Radiographics*. 2014;34(3):624–641. DOI: 10.1148/rg.343125191.
23. Yu X.R., Huang W.Y., Zhang B.Y., Li H.Q., Geng D.Y. Differentiation of infiltrative cholangiocarcinoma from benign common bile duct stricture using three-dimensional dynamic contrast-enhanced MRI with MRCP. *Clin Radiol*. 2014;69(6):567–573. DOI: 10.1016/j.crad.2014.01.001.

Поступила в редакцию 08.03.2024
Подписана в печать 25.11.2024

Для цитирования: Лазаренко В.А., Белозеров В.А., Охотников О.И., Бондарев Г.А., Корневский Н.А., Белозеров А.В., Григорьев Н.Н., Бобровская Е.А. Модели и алгоритмы дифференциальной диагностики обструктивной патологии общего желчного протока на основе результатов эндоскопической ультрасонографии с использованием гибридных нечетких технологий принятия решений. *Человек и его здоровье*. 2024;27(3):15–28. DOI: 10.21626/vestnik/2024-3/02. EDN: IWPONA.

MODELS AND ALGORITHMS FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF OBSTRUCTIVE PATHOLOGY OF THE COMMON BILE DUCT BASED ON THE RESULTS OF ENDOSCOPIC ULTRASONOGRAPHY USING HYBRID FUZZY DECISION-MAKING TECHNOLOGIES

© Lazarenko V.A.¹, Belozarov V.A.^{1,2}, Okhotnikov O.I.^{1,2}, Bondarev G.A.¹, Korenevsky N.A.³,
Belozarov A.V.³, Grigoriev N.N.¹, Bobrovskaya E.A.¹

¹ Kursk State Medical University (KSMU)

3, K. Marx Str., Kursk, Kursk region, 305041, Russian Federation

² Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital (KRMCH)

45a, Sumskaya Str., Kursk, Kursk region, 305004, Russian Federation

³ Southwest State University (SWSU)

94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, Kursk region, 305040, Russian Federation

Objective: to improve the results of differential diagnosis of obstructive pathology of the common bile duct based on the results of endoscopic ultrasonography (EUS) using hybrid fuzzy decision-making technologies.

Materials and methods. The study included 173 patients treated at the Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital in 2013-2023. Tumors of the common bile duct were detected in 24 (13.9%) patients, among whom 18 (75.0%) were women, 6 (25.0%) men, the exophytic type of cholangiocarcinoma prevailed, which was diagnosed in 13 (54.2%) patients, the infiltrative type was diagnosed in 11 (45.8%) patients. Benign obstruction of the common bile duct was diagnosed in 149 (86.1%) cases. In the vast majority of cases, choledocholithiasis was detected - 97 (65.1%) patients. Benign strictures of the common bile duct were found in 31 (20.8%) patients, among them cicatricial-inflammatory strictures of the terminal choledochus prevailed - 21 (67.7%) patients. Postoperative strictures were observed in 10 (32.3%) patients. Compression of the common bile duct by enlarged lymph nodes was diagnosed in 10 (6.7%) patients, Mirizzi Syndrome in 4 (2.7%) patients. Among the rare causes of impaired bile flow were cholangitis (4 people), biliodigestive fistulas (2 people), choledochus cyst (1 person). To solve poorly formalized problems of differential diagnosis of obstructive pathology of the common bile duct based on the analysis of endosonographic images at the Department of Biomedical Engineering of Southwestern State University, a flexible mathematical apparatus has been developed - a methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules used in this work. The mathematical apparatus integrates the intelligence of ultrasound diagnostics experts, a cognitive engineer and artificial intelligence.

Results. Informative endosonographic criteria for the diagnosis of obstructive diseases of the common bile duct have been developed, systematized and presented in the form of reference images: reference endosonograms and their reference schemes, which fully reflect the characteristics of pathological changes. Based on the results of the expert assessment, the coefficients of confidence in the belonging of reference images to benign and malignant pathology, which are the basis of the diagnostic algorithm, were determined. The results of mathematical modeling have determined the confidence in the correct diagnosis of pathological conditions using synthesized fuzzy algorithms over 0.92, which is an acceptable result for clinical use.

Conclusion. The systematization of informative EUS criteria for the differential diagnosis of obstructive diseases of the common bile duct, as well as the integration of fuzzy logic methods into the decision-making algorithm in this category of patients allows objectifying and improving the results of non-invasive EUS diagnostics, ensuring its effectiveness at a level not lower than 0.92.

Keywords: obstructive pathology; common bile duct; endoscopic ultrasonography; hybrid fuzzy technologies.

Lazarenko Victor A. – Dr. Sci. (Med.), Professor, Rector, Head of the Department of Surgery Diseases of the Institute of Continuing Education (ICE), KSMU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0001-5258-5475. E-mail: kurskmed@mail.ru

Belozarov Vladimir A. – Cand. Sci. (Med.), Doctor at the Endoscopy department, KRMCH, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0003-2028-746X. E-mail: b9102107495@yandex.ru (corresponding author)

Okhotnikov Oleg I. – Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Radiation Diagnostics and Therapy, KSMU, Kursk, Russian Federation; Head of the Department of X-ray surgical methods of diagnosis and treatment No. 2, KRMCH, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-6685-3183. E-mail: oleg_okhotnikov@mail.ru

Bondarev Gennadiy A. – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Professor at the Department of Surgery Diseases of the Institute of Continuing Education (ICE), KSMU, Kursk, Russian Federation. E-mail: gennadiy_bondarev@mail.ru

Korenevskiy Nikolay A. – Dr. Sci. (Tech.), Head of the Department of Biomedical Engineering, SWSU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0003-2048-0956. E-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Belozarov Anton V. – Post-graduate student at the Department of Biomedical Engineering, SWSU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0009-0000-4720-8472. E-mail: antotedd@yandex.ru

Grigoriev Nikolay N. – Dr. Sci. (Med.), Professor at the Department of Surgery Diseases of the Institute of Continuing Education (ICE), KSMU, Kursk, Russian Federation. E-mail: grigorevnn@kursksmu.net

Bobrovskaya Elena A. – Dr. Sci. (Med.), Professor at the Department of Surgery Diseases of the Institute of Continuing Education (ICE), KSMU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0003-3898-5522. E-mail: bobrovskajaea@kursksmu.net

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

SOURCE OF FINANCING

The authors state that there is no funding for the study.

AUTHORS CONTRIBUTION

Lazarenko V.A. – critical assessment of the manuscript with the introduction of valuable remarks of intellectual content; Belozarov V.A. – writing the text, processing the material on the pathology of the common bile duct; Okhotnikov O.I., Grigoriev N.N. – editing, design of the final version of the article; Bondarev G.A., Bobrovskaya E.A. – editing, processing of text and illustrated material; Korenevsky N.A. – writing a text using the method of synthesis of hybrid fuzzy decision rules and the creation of a fuzzy hybrid model of differential diagnosis of pathology of the common bile duct; Belozarov A.V. – systematization of the material, comparison with literary data.

ryev N.N. – editing, design of the final version of the article; Bondarev G.A., Bobrovskaya E.A. – editing, processing of text and illustrated material; Korenevsky N.A. – writing a text using the method of synthesis of hybrid fuzzy decision rules and the creation of a fuzzy hybrid model of differential diagnosis of pathology of the common bile duct; Belozarov A.V. – systematization of the material, comparison with literary data.

Received 08.03.2024

Accepted 25.11.2024

For citation: Lazarenko V.A., Belozarov V.A., Okhotnikov O.I., Bondarev G.A., Korenevsky N.A., Belozarov A.V., Grigoriev N.N., Bobrovskaya E.A.. Models and algorithms for differential diagnosis of obstructive pathology of the common bile duct based on the results of endoscopic ultrasonography using hybrid fuzzy decision-making technologies. *Humans and their health*. 2024;27(3):15–28. DOI: 10.21626/vestnik/2024-3/02. END: IWPONA.