

## ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ УЛЬТРАСОНОГРАФИЯ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОБСТРУКТИВНОЙ ПАТОЛОГИИ БОЛЬШОГО СОСОЧКА ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ДИАГНОСТИКИ

© Белозеров В.А.<sup>1</sup>, Охотников О.И.<sup>2</sup>, Бондарев Г.А.<sup>2</sup>, Корневский Н.А.<sup>3</sup>, Григорьев Н.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Курская областная многопрофильная клиническая больница (КОМКБ)

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

<sup>2</sup> Курский государственный медицинский университет (КГМУ)

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

<sup>3</sup> Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ)

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

**Цель:** повышение качества эндоскопической ультрасонографии (ЭУС) в диагностике обструктивной патологии большого сосочка двенадцатиперстной кишки (БСДК) с использованием нечетких моделей диагностики.

**Материалы и методы.** В исследование включены 189 пациентов, лечившихся в Курской областной многопрофильной клинической больнице в 2013-2023 гг. У 134 человек (70,9%) был диагностирован стеноз БСДК, у 24 (12,7%) — одиночные доброкачественные новообразования сосочка, у 31 (16,4%) пациента — злокачественные опухоли БСДК. На основании анализа результатов лечения изучена возможность дифференциальной диагностики патологии БСДК по данным ЭУС с использованием нечетких моделей диагностики. Дифференциация проводилась с применением методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, в рамках которой дефицит статистических данных восполняется клиническими знаниями экспертов, что определяет возможность построения функции принадлежности к дифференцируемой патологии.

**Результаты.** В рамках методологии разработаны информативные эхографические критерии диагностики различной патологии БСДК на основе данных эндосонографии, систематизированные и представленные в виде эталонных эндосонограмм и реперных схем, которые максимально полно отражают характеристики объекта диагностики. По данным экспертной оценки определены коэффициенты уверенности в принимаемых решениях, являющиеся основой диагностического алгоритма. Результаты математического моделирования показали уверенность в правильной диагностике патологических изменений с использованием синтезированных нечетких алгоритмов свыше 0,85, что является приемлемым результатом для клинического применения.

**Заключение.** Использование разработанной нечеткой модели в сочетании с визуальным осмотром папиллярной зоны (что обеспечивает метод ЭУС) приближает диагностическую точность дифференциальной диагностики к максимальным значениям.

**Ключевые слова:** обструктивная патология; большой сосочек двенадцатиперстной кишки; эндоскопическая ультрасонография; нечеткие математические модели.

**Белозеров Владимир Анатольевич** – к.м.н., врач отделения эндоскопии, КОМКБ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0003-2028-746X. E-mail: [b9102107495@yandex.ru](mailto:b9102107495@yandex.ru) (автор, ответственный за переписку)

**Охотников Олег Иванович** – д.м.н., профессор кафедры лучевой диагностики и терапии ИНО, КГМУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0002-6685-3183. E-mail: [oleg\\_okhotnikov@mail.ru](mailto:oleg_okhotnikov@mail.ru)

**Бондарев Геннадий Алексеевич** – д.м.н., профессор кафедры хирургических болезней ИНО, КГМУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0002-6761-562X. E-mail: [gennadiy\\_bondarev@mail.ru](mailto:gennadiy_bondarev@mail.ru)

**Корневский Николай Алексеевич** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой биомедицинской инженерии, ЮЗГУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0003-2048-0956. E-mail: [kstu-bmi@yandex.ru](mailto:kstu-bmi@yandex.ru)

**Григорьев Николай Николаевич** – д.м.н., профессор кафедры хирургических болезней ИНО, КГМУ, г. Курск. ORCID iD: 0000-0002-6741-3358. E-mail: [kurskmed@mail.ru](mailto:kurskmed@mail.ru)

Одной из актуальных и сложных для диагностики локализаций патологии гепатопанкреатодуоденальной зоны (ГПДЗ) являются заболевания большого сосочка двенадцатиперстной кишки (БСДК), спектр которых характеризуется значительным разнообразием [1]. Локализуясь в наиболее узком месте слияния протоковых систем печени и поджелудочной железы, патологические образования даже малых размеров оказывают значительное влияние на функционирование всех органов ГПДЗ. Особое значение приобретает дифференциация патологических воспалительных, доброкачественных и злокаче-

ственных поражений БСДК, заключающаяся в том, что опухоли такой локализации характеризуются менее злокачественным течением и чаще являются резектабельными. Однако успех лечения максимально зависит от правильной диагностики на ранней стадии заболевания [2]. Эндоскопия является наиболее ценным из доступных методов визуализации, поскольку она обеспечивает не только прямую визуализацию процесса, но и возможность получения материала для морфологического исследования [2, 3]. Значительные трудности возникают при внутриампулярной локализации патологии, а также

при стадировании новообразований БСДК. Использование в клинической практике эндоскопической ультрасонографии (ЭУС) позволило повысить качество диагностики заболеваний БСДК [4, 5]. При внутриампулярном раке эндосонаграфия обладает наибольшей эффективностью в сравнении с другими методами визуализации [6]. ЭУС чувствительна также при дифференциации опухолевого и фиброзного стеноза БСДК, сладжа содержимого желчных протоков, микрохолелитиаза, ранних стадий хронического панкреатита [7]. Современная инструментальная диагностика высокоэффективна в определении уровня и протяженности обструкции, однако особую ценность представляет определение характера патологических изменений на ранних стадиях заболевания, что определяет тактику лечения [8].

Отсутствие четко сформулированных диагностических эндосонаграфических критериев воспалительных и неопластических изменений БСДК закономерно и объясняется отсутствием возможности использования широко распространенных статистических методов анализа данных для выделения и оценки информативности эхопризнаков, поскольку не представляется возможным создать репрезентативные однородные выборки пациентов со статистически достоверным различием по каждому диагностическому критерию.

Современные информационные и интеллектуальные технологии позволяют объективизировать и повысить точность оценки медицинской информации, в том числе изображений. В данной работе для реализации такой задачи использована методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) [9]. Дефицит репрезентативных статистических данных в МСГНРП восполняется клиническим мышлением экспертов. Это позволяет реализовать естественный интеллектуальный потенциал специалистов для построения функции принадлежности дифференцируемой патологии с учетом практического опыта и актуальной теоретической информации. Функции принадлежности являются базисом решающих правил медицинской диагностики, которые концентрируют преимущества экспертных и статистических методов обработки сложно структурированных данных [10, 11].

Целью исследования является повышение качества ЭУС в диагностике обструктивной патологии БСДК с использованием нечетких моделей диагностики.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЭУС выполнялась видеогастроскопами с датчиками радиального и конвексного ультразвукового сканирования GF UM160 и GF UC140P-AL5. Использовалась эндоскопическая видеосистема EVIS EXERA II фирмы «Olympus» (Япония) с ультразвуковым процессором EU-ME1 с изменяемой частотой сканирования 7,5, 12 и 20 МГц. Методика исследования принципиально не отличалась от стандартных приемов эндосонаграфии органов панкреатобилиарной зоны [12,13]. Исследование основано на результатах диагностики и лечения 189 пациентов с патологией БСДК, находившихся в КОМКБ с 2013 по 2023 годы. Возраст больных варьировал от 24 до 82 лет, средний возраст –  $69 \pm 6,3$  года. Большинство больных были женщины – 119 чел. (63,0%).

У 134 (70,9%) больных диагностирован стеноз БСДК, при этом мы считаем целесообразным подразделять его на гиперпластический стенозирующий и склерозирующий папиллит.

Стенозирующий папиллит с увеличением размеров БСДК выявлен у 20 (14,9%) человек. Склерозирующий папиллит, характеризующийся эндосонаграфически сужением сегмента терминального отдела холедоха и утолщением стенок БСДК, обнаружен у 41 (30,6%) пациента. В остальных 73 (54,5%) случаях прямых эхографических критериев стеноза БСДК визуализировано не было, а диагноз стенозирующего папиллита установлен по совокупности косвенных эхопризнаков с использованием разработанного и внедренного в клинику диагностического алгоритма.

Доброкачественные новообразования БСДК диагностированы у 24 (12,7%) больных. Средний размер образования оставил  $0,98 \pm 0,11$  см.

Злокачественная патология БСДК выявлена у 31 пациента (16,4%). В 16 (51,6%) случаях определены признаки инфильтративного роста с распространением на поджелудочную железу, общий желчный проток, двенадцатиперстную кишку (ДПК). Средний размер опухолей составил  $2,0 \pm 0,13$  см.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программ Sigmaplot 11,0. Количественные данные для сравнения групп представлялись в виде среднего арифметического выборочной совокупности ( $\bar{X}$ ), стандартного отклонения (SD), стандартной ошибки среднего ( $m$ ), что давало возможность оценить величину различий и ее клиническую значимость. Для статистической оценки информативности диагностических методов исследования использовали операционные характеристики теста: чувствительность, специфичность, точность как

компоненты технологий доказательной медицины. Оценка информативности ЭУС основывалась на сравнении результатов диагностики с результатами морфологического исследования в сочетании с набором клинико-лабораторных методов, принятых за «золотой стандарт». Окончательный диагноз устанавливался по результатам щипковой эндоскопической биопсии, интраоперационной биопсии, чрескожной аспирационной биопсии при ультразвуковом исследовании и тонкоигольной пункции очаговых образований при ЭУС, с условием наблюдения за пациентами не менее 12 месяцев. Биопсия взята у 52 (38,8%) больных со стенозом БСДК и у всех 55 пациентов с новообразованиями БСДК. Подавляющее большинство биоптатов (96,1%) были информативны.

В рамках МСГНРП для дифференциальной диагностики обструктивной патологии БСДК в качестве основных элементов правил принятия решений, так же как и в классической парадигме мягких вычислений, использовались функции принадлежности к гипотезам (классам) с базовыми переменными, определяемыми существом решаемой задачи (информативные признаки, комплексные и интегральные показатели, вычисляемые различными способами, включая правила нечеткого вывода, коэффициенты уверенности по событиям). Типовой состав МСГНРП включал: блок программ разведочного анализа, позволяющих изучать структуру многомерных данных в их четком и нечетком представлении; пакет прикладных программ, реализующих методы синтеза гибридных нечетких решающих правил, ориентированные на свои специфические структуры данных; рекомендации по способам объединения (агрегации) частных моделей в частные (промежуточные) и финальные гибридные модели принятия решений; интерактивный алгоритм, реализованный в виде руководства пользователю по синтезу гибридных нечетких моделей для решения плохо формализуемых задач.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ структуры эхографических признаков, характерных для доброкачественной и злокачественной патологии БСДК, показал, что у значительного числа пациентов диагноз можно установить только по совокупности статистически малозначимых признаков, для которых невозможно выявить достоверных связей с дифференцируемой патологией. Исследования Е.Н. Солодиной (2016) показали, что ни для одного из сонографических признаков, описывающих новообразования БСДК, нет сильной корреляции, что не позволяет выделить одно-

значные критерии дифференциальной диагностики аденокарциномы БСДК, кроме того, подобные исследования часто ограничены небольшим размером выборки, неоднородностью дизайна или ограниченным сравнительным анализом результатов исследования с референсными методами диагностики [14]. В такой ситуации неопределенности данных для решения поставленных задач оправдано применение МСГНРП [15, 16], в основе которой лежит симбиоз интеллекта медицинского специалиста, инженера-когнитолога и искусственного интеллекта. При этом недостающие формальные и статистические данные восполняются знаниями квалифицированных специалистов ультразвуковой диагностики, ориентированных в патологии ГПДЗ, которые, в том числе на основании собственного опыта дифференцируют диагностируемую патологию.

С целью реализации МСГНРП для дифференциальной диагностики злокачественной и доброкачественной патологии БСДК проведен подробный анализ эхографических критериев патологии БСДК, которые мы представили в виде двух групп.

Критерии злокачественной патологии: гипоехогенное образование в проекции БСДК с неровными, нечеткими контурами, неправильной формы, гипоехогенная инфильтрация окружающих тканей, распространение образования на общий желчный, главный панкреатический протоки и ДПК, размеры опухоли более 2 см, отсутствие дифференцировки слоев БСДК, «обрыв протока», симптом «двух протоков», метастатическая лимфаденопатия, инвазия крупных сосудов.

К признакам, идентифицирующим доброкачественное образование БСДК, относим: однородное, гомогенное, гипо/изоэхогенное образование в ампуле БСДК, ровные и четкие контуры образования, правильная форма образования, интактность окружающих БСДК структур, сохранение дифференцировки слоев БСДК, ровные контуры БСДК, лимфаденопатия без признаков злокачественного поражения, размеры образования менее 2 см.

Систематизацию эхографических критериев патологии БСДК мы представили в виде эталонных сонограмм, которые наиболее полно отражают эхографические характеристики объекта, что максимально точно позволит пользователю идентифицировать искомую патологию. Эталонные эндосонограммы отобраны из всего массива цифровых видеоматериалов результатов эндосонографии пациентов с обструктивной патологией. При проспективном и ретроспективном анализе видеоизображений сформирован ряд эндосонограмм, структурно отображающих диагностированную патологию. Соно-

граммы формировались из видеотреков путем раскадровки для отбора наиболее оптимальных изображений.

Эталонные эндосонограммы расположили в ряду изображений структур в порядке изменения патологии БСДК от доброкачественной до злокачественной. Шкала изображений дифференциальной диагностики патологии БСДК включала следующие эталонные эндосонограммы: структура нормального БСДК, структура БСДК при склерозирующем папиллите, структура БСДК при гиперпластическом стенозирующем папиллите, структура аденомы БСДК, структура при раке БСДК без инфильтрации окружающих тканей, структура при раке с инфильтрацией окружающих тканей.

Определение исходной системы признаков, используемых для решения поставленной задачи по формированию пространства исходных информативных признаков дифференциальной диагностики патологии БСДК, выполнялась экспертами ультразвуковой диагностики (УЗД), поскольку регламентированного алгоритма для решения таких задач в настоящее время не существует. Коллегиальный анализ эндосонограмм врачами УЗД и компетентными специалистами в области обработки визуальной информации регламентировал возможность синтеза моделей диагностики с использованием двух типов изображений: эталонных эндосонограмм структуры патологического образования и их реперных схем.

Такая двойная визуальная детализация патологии выбрана для улучшения зрительного восприятия клиницистами наблюдаемой патологии. В качестве примера на рисунках 1, 2, 3, 4 приведены пары эталонной и реперной сонограмм для структуры нормального БСДК, при стенозирующих папиллитах и при раке с инфильтрацией окружающих тканей.

Согласно алгоритма МСГНРП, для формирования нечеткой модели дифференциальной диагностики злокачественной и доброкачественной патологии БСДК (классы  $\omega_P$  и  $\omega_D$ ), соответственно была проведена экспертная оценка уверенности к исследуемым классам патологии по шести типам эталонных эндосонограмм и реперных схем (С1–С6), которую проводят не менее 8 экспертов (Э1–Э8). Используя технологию Дельфы, эксперты сформировали таблицы (табл. 1) коэффициентов уверенности  $K_{ci}$  в принадлежности диагностируемой патологии к злокачественной или к доброкачественной.

Аналогичным образом сформирована таблица результата опроса экспертов по классу  $\omega_P$  (табл. 2).

Усредненные коэффициенты уверенности  $K_{ci}$  являются базисом алгоритма диагностики. В соответствии с алгоритмом пользователь

определяет соответствие наблюдаемой патологии и одной из типовых эталонных сонограмм структуры патологического состояния БСДК с дальнейшим определением табличного значения коэффициента уверенности. Диагноз соответствует классу с большим коэффициентом уверенности при учете превышения принятого экспертами порога.

Разведочный анализ разработанного алгоритма с использованием эталонных изображений и коэффициентов уверенности показал практически безошибочное сопоставление пользователями диагностируемой патологии с изображенной на эталонах. Это является основанием к увеличению точности диагностики и принимаемых решений посредством замены шкалы порядка более мощной шкалой интервалов. Шкала интервалов  $S$  соответствовала следующим правилам. Порядковым номерам типовых эхографических структур соответствовали целые числа от 1 до 6 в порядке возрастания уверенности в патологии по классу  $\omega_P$ . Отрезок шкалы величиной 0,1 принят за единицу измерения. Согласно технологии Дельфи, экспертами на шкале интервалов построены графики функций принадлежности к классам  $\omega_P$  и  $\omega_D$ , которые продемонстрированы на рис. 5.

Аналогично получена модель для диагностики злокачественной патологии.

Частные уверенности в классах патологии  $I = D, P$  определяется функциями принадлежности:

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

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

Алгоритм работы решающих правил заключается в определении значения  $S$  с расчетом соответствующих значений функций принадлежности по выбранной врачом пользователем сонограмме, что соответствует уверенности в диагностике по исследуемым классам состояний по максимальному значению. В ходе работы было показано, что уверенность в принимаемых решениях с использованием нечетких моделей (1) и (2) превышает величину 0,85, что является приемлемым результатом для клинической практики.

На репрезентативных контрольных выборках для оценки качества работы решающих правил определялись показатели, принятые в теории распознавания образов. Диагностическая чувствительность, характеризующая качество срабатывания решающего правила (2) для класса  $\omega_P$ , равна 0,92. Диагностическая специфичность для решающего правила (2) для класса  $\omega_P$  равна 0,96, диагностическая эффективность – 0,95. Приведенные расчеты согласуются с математическим моделированием.

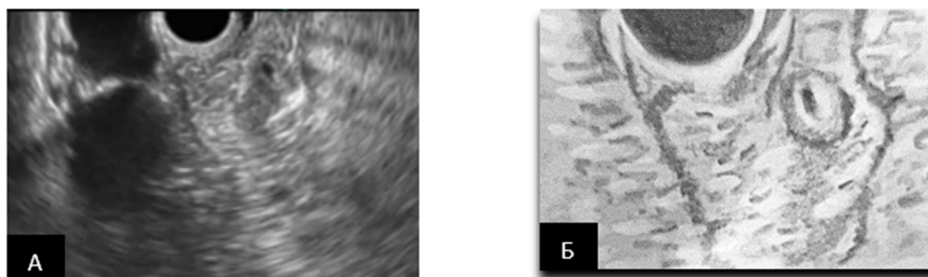


Рис. 1. Эталонная эндосонограмма структуры нормального БСДК, который в норме представляет собой гипоехогенное образование слоистой структуры, правильной формы, с ровными четкими контурами; А – эндосонограмма, Б – реперная схема.

Fig. 1. Reference endosonogram of the structure of a normal MDP, which normally is a hypoechoic formation of a layered structure, regular shape, with smooth clear contours; А – endosonogram, Б – reference scheme.

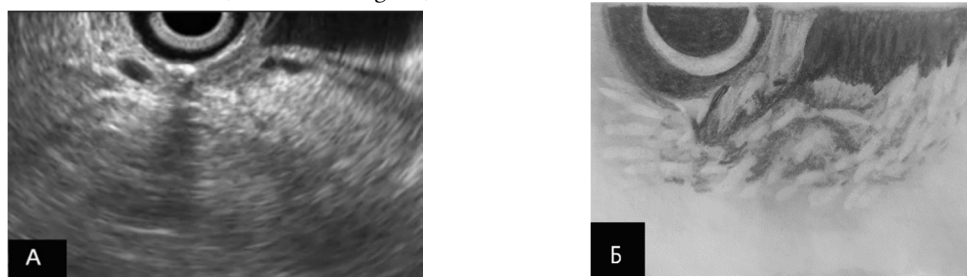


Рис. 2. Эталонная эндосонограмма структуры БСДК при склерозирующем папиллите. Визуализируется нитевидный сегмент терминального отдела общего желчного протока, следующий за супрастенотическим расширением; А – эндосонограмма, Б – реперная схема.

Fig. 2. Reference endosonogram of the MDP structure in sclerosing papillitis. The filamentous segment of the terminal department of the common bile duct is visualized, following the suprastenotic expansion; А – endosonogram, Б – reference scheme.

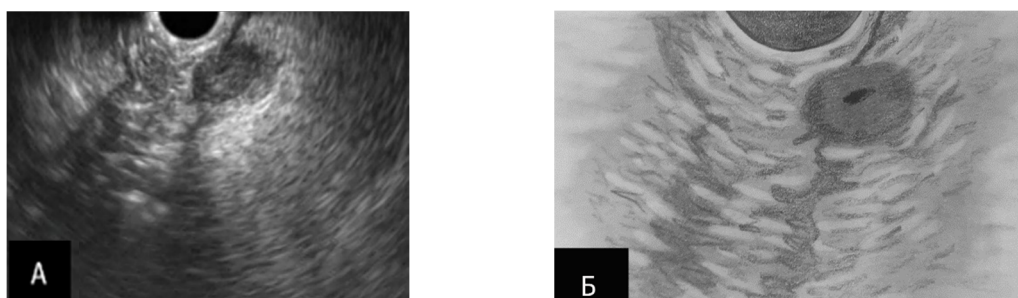


Рис. 3. Эталонная эндосонограмма структуры БСДК при гиперпластическом стенозирующем папиллите. Визуализируется утолщение стенок ампулярного отдела БСДК с формированием подчеркнутой слоистой структуры смешанной эхогенности; А – эндосонограмма, Б – реперная схема.

Fig. 3. Reference endosonogram of the MDP structure in hyperplastic stenosing papillitis. The thickening of the walls of the ampullary section of the MDP is visualized with the formation of an accentuated layered structure of mixed echogenicity; А – endosonogram, Б – reference scheme.

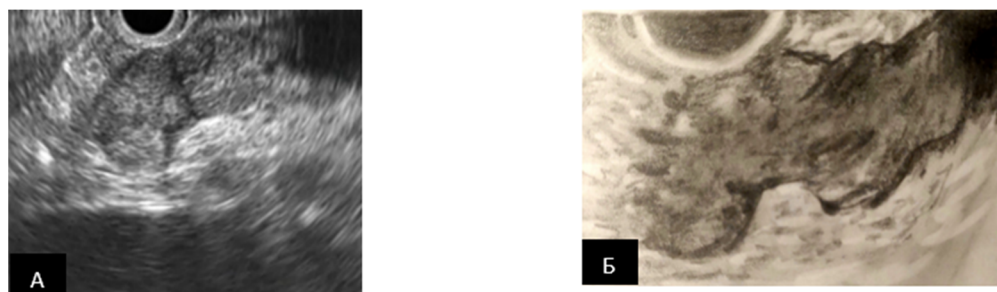


Рис. 4. Эталонная эндосонограмма структуры при раке БСДК с инфильтрацией окружающих тканей. Визуализируется гипоехогенное образование с неровными, нечеткими контурами, образующее асимметричное резкое сужение типа «обрыв протока», слоистая структура стенок не просматривается, отмечается гипоехогенная инфильтрация окружающих тканей; А – эндосонограмма, Б – реперная схема.

Fig. 4. Reference endosonogram of the structure in MDP cancer with infiltration of surrounding tissues. A hypoechoic formation with uneven fuzzy contours is visualized, forming an asymmetric sharp narrowing of the "duct breakage" type, the layered structure of the walls is not visible, there is a hypoechoic infiltration of surrounding tissues; А – endosonogram, Б – reference scheme.



Таблица 1

Table 1

Результаты опроса экспертов по классу  $\omega_P$  «Злокачественная патология БСДК»

Results of the survey of experts on the class of  $\omega_P$  "Malignant pathology of MDP"

Эталон / Standard	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$\mathcal{E}_1 / E_1$	0	0.12	0.12	0.45	0.55	0.85
$\mathcal{E}_2 / E_2$	0	0.15	0.15	0.50	0.60	0.90
$\mathcal{E}_3 / E_3$	0	0.12	0.15	0.45	0.65	0.95
$\mathcal{E}_4 / E_4$	0	0.10	0.14	0.48	0.55	0.90
$\mathcal{E}_5 / E_5$	0	0.10	0.12	0.45	0.60	0.90
$\mathcal{E}_6 / E_6$	0	0.10	0.15	0.50	0.60	0.92
$\mathcal{E}_7 / E_7$	0	0.12	0.12	0.38	0.55	0.85
$\mathcal{E}_8 / E_8$	0	0.12	0.15	0.48	0.60	0.95
Среднее / Mean	0	0.12	0.12	0.46	0.67	0.90

Примечание:  $C_i$  – эталонная эндосонограмма с номером  $i$ ;  $\mathcal{E}_j$  – эксперт с номером  $j$ .

Note:  $C_i$  is a reference endosonogram with number  $i$ ;  $\mathcal{E}_j$  is an expert with number  $j$ .

Таблица 2

Table 2

Результаты опроса экспертов по классу  $\omega_D$  «Доброкачественная патология БСДК»

Results of a survey of experts on the class  $\omega_D$  "Benign pathology of BSDC"

Эталон / Standard	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$\mathcal{E}_1 / E_1$	0	0.80	0.85	0.70	0.20	0
$\mathcal{E}_2 / E_2$	0	0.85	0.80	0.75	0.30	0
$\mathcal{E}_3 / E_3$	0	0.90	0.75	0.70	0.35	0
$\mathcal{E}_4 / E_4$	0	0.85	0.75	0.56	0.25	0
$\mathcal{E}_5 / E_5$	0	0.85	0.70	0.75	0.20	0
$\mathcal{E}_6 / E_6$	0	0.90	0.75	0.60	0.30	0
$\mathcal{E}_7 / E_7$	0	0.85	0.75	0.62	0.25	0
$\mathcal{E}_8 / E_8$	0	0.90	0.70	0.60	0.15	0
Среднее / Mean	0	0.86	0.85	0.66	0.25	0

Примечание:  $C_i$  – эталонная эндосонограмма с номером  $i$ ;  $\mathcal{E}_j$  – эксперт с номером  $j$ .

Note:  $C_i$  is a reference endosonogram with number  $i$ ;  $\mathcal{E}_j$  is an expert with number  $j$ .

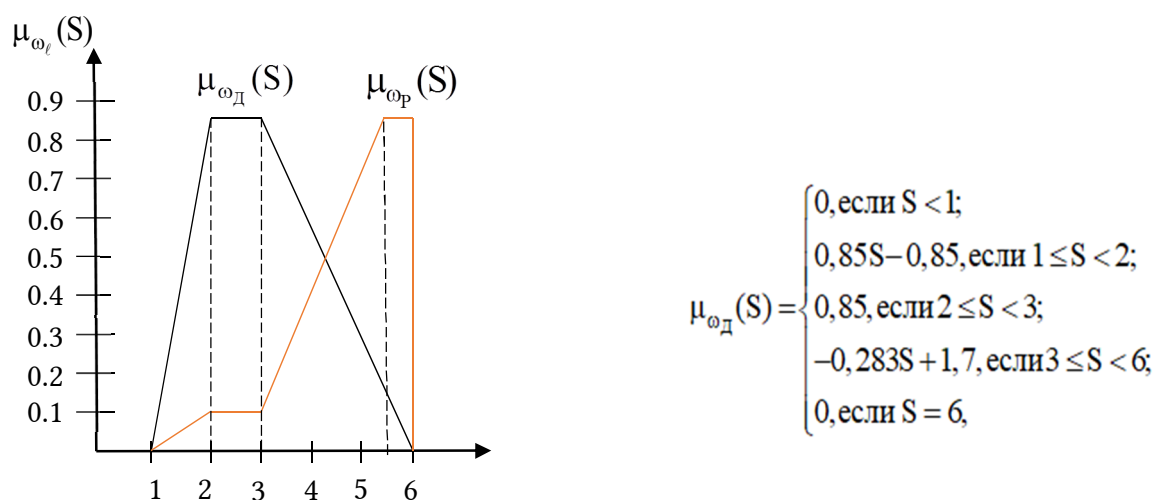


Рис. 5. Графики функций принадлежности  $\mu$  к классам  $\omega_P$  и  $\omega_D$  и выражение модели диагностики для доброкачественной патологии.

Fig. 5. Graphs of the functions belonging to the classes  $\omega_P$  and  $\omega_D$  and the expression of the diagnostic model for benign pathology.

Широкое развитие ультразвуковых технологий в сочетании с визуальным осмотром, реализуемое в технологии эндосонографии, вывело диагностику патологии ампулярной зоны ДПК на качественно новый уровень. Эндосонография позволяет детально визуализировать папиллярную область ДПК и определять характер патологии. Разработка, систематизация и объективизация оценки эхографических симптомов с использованием технологий искусственного интеллекта повышают достоверность результатов эндосонографии и точность их интерпретации. Использование МСГНРП для дифференциальной диагностики обструктивной патологии БСДК нивелирует недостаток статистически достоверных данных благодаря продуктивному взаимодействию интеллекта специалистов диагностики, инженера-когнитолога и искусственного интеллекта.

Таким образом, полученная модель дифференциальной диагностики обструктивных заболеваний БСДК, основанная на результатах ЭУС и синтезированных гибридных нечетких решающих правилах, позволила объективизировать и повысить эффективность ЭУС-диагностики рассматриваемой патологии, обеспечивая уверенность в принимаемых решениях на уровне 0,9. Дополнение разработанной нечеткой математической модели дифференциальной диагностики патологии БСДК информацией о состоянии регионарных лимфатических узлов и магистральных сосудов, а также учет возможности визуального осмотра ампулярной области ДПК, обеспечиваемого методом ЭУС, приближает диагностическую точность к максимальным значениям. Указанные обстоятельства позволяют рекомендовать полученную модель диагностики к практическому использованию.

#### 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

Белозеров В.А. – написание текста, обработка материала по патологии БСДК; Охотников О.И. – редактирование, дизайн окончательного варианта статьи; Бондарев Г.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; Григорьев Н.Н. – систематизация материала, сравнение с литературными данными.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Шулешова А.Г., Брехов Е.И., Добрусин В.В., Прокопович А.И., Старостенко А.В., Кардаш Н.А. Диагностика и эндоскопические методы лечения заболеваний большого дуоденального сосочка. *Медицинский вестник МБД*. 2012;56(1):8–17 [Shuleshova A., Brekhov Ye., Dobrusin V., Prokopovich A., Starostenko A., Kardash N. Diagnosis and results of endoscopic methods of treatment of major duodenal papilla diseases. *Meditsinskii vestnik MVD*. 2012;56(1):8–17 (in Russ.)]. EDN: NGDNKP.
2. Kim M.H., Lee S.K., Seo D.W., Won S.Y., Lee S.S., Min Y.I. Tumors of the major duodenal papilla. *Gastrointestinal Endoscopy*. 2001;54(5):609–620. DOI: 10.1067/mge.2001.119254.
3. Hew W.Y., Joo K.R., Cha J.M., Shin H.P., Lee J.I., Park J.J., Lim J.U. Feasibility of forward-viewing upper endoscopy for detection of the major duodenal papilla. *Dig Dis Sci*. 2011;56(10):2895–2899. DOI: 10.1007/s10620-011-1668-0.
4. Castillo C. Endoscopic ultrasound in the papilla and the periampullary region. *World J Gastrointest Endosc*. 2010;2(8):278–287. DOI: 10.4253/wjge.v2.i8.278.
5. Albores-Saavedra J., Schwartz A.M., Batich K., Henson D.E. Cancers of the ampulla of Vater: demographics, morphology, and survival based on 5,625 cases from the SEER program. *J Surg Oncol*. 2009;100:598.
6. Орлова М.В., Ким В.А., Быстровская Е.В. Диагностика опухолей большого сосочка двенадцатиперстной кишки. *Эффективная фармакотерапия*. 2020;16(30):74–80 [Orlova M.V., Kim V.A., Byistrovskaya YE.V. Diagnosis of tumors of the major duodenal papilla. *Effektivnaya farmakoterapiya*. 2020;16(30):74–80 (in Russ.)]. DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-30-74-80. EDN: ASTZQV.
7. Козлова Н.М. *Болезни желчевыводящих путей: Учебное пособие*. Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет, 2020. 77 с. [Kozlova N.M. *Diseases of the biliary tract: A textbook*. Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet, 2020. 77 p. (in Russ.)]
8. Hartenfels I.M., Dukat A., Burg J., Hansen M., Jung M. Adenomas of Vater's ampulla and of the duodenum. Presentation of diagnosis and therapy by endoscopic interventional and surgical methods. *Chirurg*. 2002;73(3):235–240.
9. 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. [Korenevskii N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. *Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems*. Staryi Oskol: TNT, 2019. (in Russ.)]
10. Белозеров В.А., Корневский Н.А. Нечеткие модели дифференциальной диагностики очаговых образований поджелудочной железы по данным эндоскопической ультрасонографии на основе анализа реперных схем эталонных эндосонограмм. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислитель-*

- ная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020;10(3\4):118–135 [Belozero V.A., Korenevskij N.A. Differential diagnosis of focal formations of the pancreas using fuzzy models according to endoscopic ultrasonography data based on analysis of repeated schemes of ethalonography. *Proceedings of the southwest state university. Series: control, computer engineering, information science. Medical instruments engineering*. 2020;10(3\4):118–135 (in Russ.)]. EDN: QFYBWM.
11. Белозеров В.А., Охотников О.И., Корневский Н.А., Григорьев С.Н. Дифференциальная диагностика очаговых образований поджелудочной железы по данным эндоскопической ультрасонографии на основе анализа текстуры и с использованием нечетких математических моделей. *Онкологический журнал. Лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2021;4(3):64–73 [Belozero V.A., Ohotnikov O.I., Korenevskij N.A., Grigorev S.N. Differential Diagnostics focal pancreatics masses based on the analysis of the echographic texture of endosonograms using fussy mathematical models. *Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021;4(3):64–73 (in Russ.)]. DOI:10.37174/2587-7593-2021-4-3-64-73. EDN: NGLZWH.
12. Нечипай А.М., Орлов С.Ю., Федоров Е.Д. ЭУСбука. *Руководство по эндоскопической ультрасонографии*. Москва: Практическая медицина; 2013. [Nechipai A.M., Orlov S.Yu., Fedorov E.D. EUSbuka. *Guidelines for endoscopic ultrasonography*. Moscow: Prakticheskaya meditsina, 2013. (in Russ.)].
13. Hawes R.H., Fockens P. *Endosonography*. Elsevier Inc., 2006. 329 p.
14. Ridditid W., Schmidt S.E., Al-Haddad M.A., LeBlanc J., DeWitt J.M., McHenry L., Fogel E.L., Watkins J.L., et al. Performance characteristics of EUS for locoregional evaluation of ampullary lesions. *Gastrointest. Endosc.* 2015;81(2):380–388. DOI: 10.1016/j.gie.2014.08.005.
15. Korenevskiy N.A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. *Biomedical engineering*. 2015;49:46–49. DOI: 10.1007/s10527-015-9494-x.
16. Korenevskiy N.A., Degtyarev S.V., Seregin S.P., Novikov A.V. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis. *Biomedical engineering*. 2013;47(4):169–172. DOI: 10.1007/s10527-013-9361-6
- Поступила в редакцию 02.05.2023  
Подписана в печать 25.11.2023

---

**Для цитирования:** Белозеров В.А., Охотников О.И., Бондарев Г.А., Корневский Н.А., Григорьев Н.Н. Эндоскопическая ультрасонография в дифференциальной диагностике обструктивной патологии большого сосочка двенадцатиперстной кишки с использованием нечетких моделей диагностики. *Человек и его здоровье*. 2023;26(3):4–12. DOI: 10.21626/vestnik/2023-3/01. EDN: UBMMNP.

---



## ENDOSCOPIC ULTRASONOGRAPHY IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF OBSTRUCTIVE PATHOLOGY OF THE MAJOR DUODENAL PAPILLA USING FUZZY DIAGNOSTIC MODELS

© Belozеров V.A.<sup>1</sup>, Okhotnikov O.I.<sup>2</sup>, Bondarev G.A.<sup>2</sup>, Korenevskiy N.A.<sup>3</sup>, Grigoriev N.N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> **Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital (KRMCH)**

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

<sup>2</sup> **Kursk State Medical University (KSMU)**

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

<sup>3</sup> **Southwest State University (SWSU)**

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

**Objective:** to improve the quality of endoscopic ultrasonography (EUS) in the diagnosis of obstructive pathology of the major duodenal papilla (MDP) using fuzzy diagnostic models.

**Materials and methods.** The study included 189 patients treated at the Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital in 2013-2023. 134 people (70.9%) were diagnosed with MDP stenosis, 24 (12.7%) had single benign papillary neoplasms, 31 (16.4%) patients had malignant MDP tumors. Based on the analysis of treatment results, the possibility of differential diagnosis of duodenal papilla pathology according to endoscopic ultrasonography using fuzzy diagnostic models was studied. Differentiation was carried out using the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules, in which the lack of statistical data is filled with the clinical knowledge of experts, which determines the possibility of constructing a function of belonging to a differentiable pathology.

**Results.** Within the framework of the methodology, informative echographic criteria for the diagnosis of various pathology of MDP have been developed based on endosonography data, systematized and presented in the form of reference endosonograms and reference schemes that fully reflect the characteristics of the diagnostic object. According to the expert assessment, the coefficients of confidence in the decisions made, which are the basis of the diagnostic algorithm, are determined. The results of mathematical modeling showed confidence in the correct diagnosis of pathological changes using synthesized fuzzy algorithms over 0.85, which is an acceptable result for clinical use.

**Conclusion.** The use of the developed fuzzy model in combination with visual examination of the papillary zone (which provides the EUS method), brings the diagnostic accuracy of differential diagnosis to the maximum values.

**Keywords:** obstructive pathology; major duodenal papilla; endoscopic ultrasonography; fuzzy mathematical models.

**Belozеров 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](mailto:b9102107495@yandex.ru) (corresponding author)

**Okhotnikov Oleg I.** – Dr. Sci. (Med.), Professor at the Department of Surgical Diseases of ICE, KSMU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-6685-3183. E-mail: [oleg\\_okhotnikov@mail.ru](mailto:oleg_okhotnikov@mail.ru)

**Bondarev Gennadiy A.** – Dr. Sci. (Med.), Professor at the Department of Surgical Diseases of ICE, KSMU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-6761-562X. E-mail: [gennadiy\\_bondarev@mail.ru](mailto:gennadiy_bondarev@mail.ru)

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

**Grigoriev Nikolay N.** – Dr. Sci. (Med.), Professor at the Department of Surgical Diseases of ICE, KSMU, Kursk, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-6741-3358. E-mail: [kurskmed@mail.ru](mailto:kurskmed@mail.ru)

### 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

Belozеров V.A. – writing the text, processing the material on the pathology of MPD; Okhotnikov O.I. – editing, design of the final version of the article; Bondarev G.A. – editing, processing of text and illustrated material; Korenevskiy N.A. – writing a text on the method of synthesis of hybrid fuzzy decision rules and creating a fuzzy hybrid model of differential diagnosis of chronic focal pancreatitis and ductal pancreatic adenocarcinoma; Grigoriev N.N. – systematization of the material, comparison with literary data.

Received 02.05.2023

Accepted 26.06.2023

**For citation:** Belozеров V.A., Okhotnikov O.I., Bondarev G.A., Korenevskiy N.A., Grigoriev N.N. Endoscopic ultrasonography in the differential diagnosis of obstructive pathology of the major duodenal papilla using fuzzy diagnostic models. *Humans and their health*. 2023;26(3):4–12. DOI: 10.21626/vestnik/2023-3/01. EDN: UBMMHP.