

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОЧАГОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭНДОСОНОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

*Белозеров В.А.¹, Охотников О.И.^{1,2}, Корневский Н.А.³, Григорьев Н.Н.^{1,4}

3.1.6 – Онкология, лучевая терапия
(медицинские науки)
3.1.9 – хирургия (медицинские науки)
3.1.25 – лучевая диагностика
(медицинские науки)

¹ОБУЗ Курская областная многопрофильная клиническая больница

²ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет

Кафедра лучевой диагностики и терапии института непрерывного образования

³ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет

Кафедра биомедицинской инженерии

⁴ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет

Кафедра хирургических болезней института непрерывного образования

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- рак поджелудочной железы
- хронический очаговый панкреатит
- дифференциальная диагностика
- мягкие вычисления
- эндоскопическая
ультрасонография

АННОТАЦИЯ:

Введение: дифференциация воспалительных и неопластических изменений поджелудочной железы, особенно на ранних стадиях заболеваний, является актуальной проблемой клинической медицины. Сложность диагностики связана с топографо-анатомическими особенностями железы и сходной лучевой семиотикой очаговой патологии органа.

Цель: объективизация и совершенствование диагностики очаговой патологии поджелудочной железы по результатам эндосонаграфии с использованием технологии мягких вычислений.

Материалы и методы: очаговая патология панкреатодуоденальной зоны диагностирована у 292 пациентов, из них большинство составили мужчины – 191 (65,4%) человек. Анализ результатов диагностики и лечения с формированием информативных эхографических критериев дифференциации очаговых образований поджелудочной железы, проведен в группе, состоящей из 159 больных. Всем пациентам выполнялась эндоскопическая ультрасонография с применением видеоинформационной эндоскопической системы EVIS EXERA II фирмы «Olympus» (Япония). По системе информативных эхографических признаков с использованием технологии мягких вычислений проводилась дифференциальная диагностика злокачественной патологии поджелудочной железы и хронического очагового панкреатита.

Результаты: экспертная оценка и математическое моделирование показали уверенность в правильной диагностике характера патологических изменений поджелудочной железы по выбранным заболеваниям на уровне 0,9 и выше, что позволяет использовать результаты исследования в практической медицине.

Заключение: использование технологии мягких вычислений и синтез решающих правил позволяет повысить качество и объективизировать результаты эндосонаграфической неинвазивной диагностики очаговых образований поджелудочной железы.

Для цитирования. Белозеров В.А., Охотников О.И., Корневский Н.А., Григорьев Н.Н. «МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОЧАГОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭНДОСОНОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2023; 17(1): 49–58.

MODELS AND ALGORITHMS FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF FOCAL PANCREATIC NEWGROWTHS BASED ON RESULTS OF ENDOSONOGRAPHY USING SOFT COMPUTING TECHNOLOGY

*Belozerov V.A.¹, Okhotnikov O.I.^{1,2}, Korenevsky N.A.³, Grigoriev N.N.^{1,4}

¹Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital

²Kursk State Medical University

Chair of Radiation Diagnostics and Therapy of the Institute of Continuing Education

³Southwest State University

Chair of Biomedical Engineering

⁴Kursk State Medical University

Chair of Surgical Diseases of the Institute of Continuing Education

KEY-WORDS:

- pancreatic cancer
- chronic focal pancreatitis
- differential diagnosis
- soft computing
- endoscopic ultrasonography

ABSTRACT:

Introduction: differentiation of inflammatory and neoplastic changes of pancreas, especially in early stages of diseases, is an actual problem of clinical medicine. Complexity of diagnosis is associated with topographic and anatomical features of pancreas and similar radiation semiotics of focal pathology of organ.

Aim: was to objectify and improve the diagnosis of focal pancreatic pathology basing on results of endosonography using soft computing technology.

Materials and methods: focal pathology of pancreatoduodenal zone was diagnosed in 292 patients, of whom the majority were men - 191 (65,4%). Analysis of results of diagnosis and treatment with formation of informative echographic criteria for differentiation of pancreatic focal newgrowths was carried out in group, consisting of 159 patients. All patients underwent endoscopic ultrasonography using the EVIS EXERA II video information endoscopic system from Olympus (Japan). Differential diagnosis of malignant pathology of pancreas and chronic focal pancreatitis was carried out using the system of informative echographic signs using soft computing technology.

Results: expert evaluation and mathematical modeling showed reliance in correct diagnosis of nature of pancreas pathological changes in selected diseases at 0,9 and higher levels, which allows to use results of the study in practical medicine.

Conclusion: use of soft computing technology and synthesis of decision rules make it possible to improve quality and objectify results of endosonographic noninvasive diagnostics of focal pancreatic newgrowths.

Введение

Смертность от рака поджелудочной железы (ПЖ) является одной из самых высоких среди онкологических заболеваний в странах Западной Европы, рак этой локализации является вторым по распространенности раком пищеварительной системы, и по прогнозам станет второй ведущей причиной смертности от рака к 2030 году [1]. Наиболее распространенным первичным злокачественным новообразованием ПЖ является протоковая аденокарцинома, которая составляет приблизительно 95% всех экзокринных новообразований ПЖ, что позволяет считать данные о заболеваемости и смертности от рака ПЖ таковыми при протоковой аденокарциноме [2]. Ряд патологических состояний ПЖ, могут имитировать данное заболевание из-за схожести их лучевой эхо семиотики [3]. Особенно актуальной представляется дифференциация неопластических и воспалительных изменений ПЖ, среди которых в фокусе наибольшего внимания очаговые формы хронического панкреатита. Сложность диагностики очаговых изменений ПЖ связана так же с трудной анатомической доступностью органа, общностью клинических проявлений, сложностью получения материала для морфологической верификации [4].

Накопленные данные демонстрируют, что эндоскопи-

ческое ультразвуковое исследование (ЭУС) оказало большое влияние на клиническую оценку рака ПЖ. Эндосонаграфия обеспечивает визуализацию органа с высоким разрешением, качество получаемых изображений считается высокоинформативным и превосходящим результаты трансабдоминального ультразвукового исследования, компьютерной томографии или магнитно-резонансной томографии [5]. Высокие результаты исследования обеспечиваются близостью ультразвукового датчика к паренхиме органа, возможностью динамической визуализации в режиме реального времени в сочетании с высокой частотой сканирования, исключая помехи воздушной среды двенадцатиперстной кишки и жировой клетчатки, что дает огромное преимущество перед томографическими методами диагностики [6].

Вместе с тем, существующие методы диагностики в большей степени способны эффективно выявлять факт обструкции желчных протоков, ее уровень и протяженность, однако основная трудность заключается в определении характера патологического процесса, и наибольшую сложность представляет дифференциация воспалительных и неопластических изменений на ранней стадии заболевания. Четкого алгоритма и соно-

графических критериев, позволяющих проводить дифференциацию очаговой патологии ПЖ не сформулировано, что закономерно в связи с невозможностью корректного использования статистических методов анализа данных для выделения и оценки диагностических признаков, поскольку сформировать репрезентативные однородные выборки пациентов со статистически достоверным различием по каждому диагностическому критерию не представляется возможным.

Изучаемая задача дифференциальной диагностики относится к классу плохоформализуемых задач, одним из способов решения которой являются технологии мягких вычислений, реализуемые современными медицинскими информационными системами. Это позволяет объективизировать и повысить информативность анализа медицинских изображений при недостатке статистических данных. В рамках этой технологии в Юго-Западном государственном университете разработана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), механизмом которой является активное взаимодействие врачей, инженера когнитолога и искусственного гибридного интеллекта. Клинический опыт экспертов ультразвуковой диагностики компенсирует дефицит статистических данных и совместно с инженером когнитологом позволяет синтезировать математические модели для плохоформализуемых задач [7].

Цель: объективизация и совершенствование диагностики очаговой патологии поджелудочной железы по результатам эндосонографии с использованием технологии мягких вычислений.

Материалы и методы

Эндоскопическая ультрасонография в условиях Курской областной многопрофильной клинической больницы с 2013 года является неотъемлемой составляющей алгоритма диагностики при патологии органов панкреатобилиарной зоны, за этот период выполнено более 1000 исследований. Диагностика выполнялась ультразвуковыми видеогастроскопами GF UM160 с радиальным и GF UC140P-AL5 с конвексным датчиком с использованием видеоинформационной эндоскопической системы EVIS EXERA II фирмы «Olympus» (Япония) с ультразвуковым процессором EU-ME1 с частотой сканирования 7,5,12 и 20 МГц. Подготовка больных к проведению исследования предполагала голод в течении 8 час. Подавляющее большинство исследований выполнялись в условиях седации. Методика проведения исследования не отличалась от стандартной при патологии панкреатобилиарной зоны [8]. По настоящее время очаговые образований панкреатодуоденальной зоны диагностированы у 292 пациентов. Большинство из них были мужчины – 191 (65,4%) пациент. Средний возраст составил $57,4 \pm 6,15$ года. Анализ и выделение информативных эхографических

критериев дифференциации солидных образований ПЖ, проводили в группе пациентов, включающей 159 человек. Условием включения в обследуемую группу являлся факт диагностики солидных образований ПЖ и выполнение ЭУС. Кистозный компонент в очаге являлся фактором невключения в группу. Фактором исключения являлось отсутствие верификации диагноза или неизвестный исход заболевания при условии наблюдения в течение двух лет. Сольные опухолевые образования ПЖ выявлены у 112 (38,3%) пациентов, локальные формы хронического панкреатита (ХП) диагностированы у 47 (16,1%) больных. По результатам оперативных вмешательств, по данным цитологических исследований аспирационных биопсий, полученных перкутанно под ультразвуковой навигацией или при ЭУС контролируемой тонкоигльной пункции (при условии наблюдения за пациентами не менее 12 мес.), по данным щипковой биопсии при наличии субстрата устанавливался окончательный диагноз. Видеоматериалы всех исследований сохранялись на цифровых носителях информации.

При оценке данных эндосонографии ключевой характеристикой очагового образования является его эхографическая текстура, которая формируется и является визуальной проекцией внутренних тканевых структурных элементов, их характером, расположением и другими характеристиками. Такая терминология используется авторами и не противоречит литературным данным [9]. Детализация эхотекстуры патологического очага является уникальной особенностью метода эндосонографии, выгодно выделяющей его среди прочих методов лучевой диагностики [6]. Тонкая визуализация структуры паренхимы железы простирает возможности метода эндосонографии за пределы простой дифференцировки патологии и позволяет предположить степень дифференцировки новообразований ПЖ [10], которая коррелирует со степенью злокачественности (grade) опухоли, что несомненно является одним из факторов, определяющих тактику лечения [11]. Эхосемиотика протоковой аденокарциномы с различной дифференцировкой изучена недостаточно и отсутствует детализация и ранжирование информативных эхопризнаков на основе анализа эхографической текстуры. Часто сочетание эхопризнаков, определяющие принадлежность образования к какой-либо патологии противоречиво. В связи с этим анализ и объективизация информативных эхопризнаков на основании текстуры патологического очага использована в работе для дифференциации изучаемой патологии.

Результаты

С целью реализации МСГНРП для дифференциальной диагностики изучаемой патологии проведен подробный анализ критериев, описывающих их эхографиче-

скую текстуру. Эхопризнаки систематизировали и отразили в эталонных сонограммах, включающих максимальное количество характерных особенностей объекта диагностики. Эталоны включили эхотекстуры, характерные для всех вариантов искомой патологии. Эндосонограммы выбраны из массива видеоматериалов результатов исследований пациентов с очаговой патологией ПЖ путем нарезки кадров с последующим отбором наиболее характерных и четких образцов. При этом использовались разработанные нами универсальные алгоритмы, позволяющие выделять максимально однородные эталоны, отвечающие требованиям шкалы дифференциальной диагностики. В область интереса вошли наиболее информативные изображения текстуры патологического образования, с максимально характерным набором эхопризнаков анализируемой патологии, извлеченные из области изображения в фокусе максимального разрешения эхосканера. Эталонные эндосонограммы очаговой патологии ПЖ расположили на шкале эхотекстур в порядке изменений от доброкачественной до злокачественной. Отсутствие регламента формирования исходной системы признаков для решения задачи дифференциальной диагностики вынуждает использовать клинические знания экспертов ультразвуковой диагностики, тесно взаимодействующих со специалистами по обработке и разметке изображений. Такой симбиоз позволил утвердить возможность синтеза моделей дифференциальной диагностики с использованием двух типов изображений: эталонная эндосонограмма текстуры патологического образования и его схематичного реперного изображения. Применение реперных схем позволяет усилить наглядность изображения, что позволяет пользователям алгоритма надежнее идентифицировать патологию. В рамках исследования на основании собственного опыта и имеющихся в литературе публикаций описаны характеристики типовых эхотекстур очаговой патологии ПЖ

с учетом теоретически возможных эхогистологических корреляций.

На основании анализа изученных информативных эхографических признаков дифференцируемой патологии ПЖ выделены и описаны следующие типовые эхотекстуры, которые отображены на эталонных сонограммах и реперных схемах. Эхографическая текстура ПЖ в норме характеризуется равномерным чередованием гипоехогенных и гиперэхогенных структур с размерами не более 2 мм. Эхотекстура при ХП с очаговыми изменениями: панкреатический рисунок характеризуется дольчатой структурой железы с формированием сливного характера распределения гипоехогенных долек. При ХП с преимущественно очаговым характером изменений текстура панкреатического рисунка неоднородна в очаге, преобладают сливные гипоехогенные дольки, маскирующие гиперэхогенные эхоструктуры, при этом преобладают гипоехогенные структуры. Эхографическая текстура высокодифференцированных злокачественных новообразований ПЖ: текстурный рисунок при высокодифференцированных злокачественных новообразованиях характеризуется формированием гипоехогенных областей в очаге, состоящими из равномерных эхоструктур правильной формы. Соотношение размеров областей различной эхогенности сопоставимое. Текстура очага умеренно дифференцированных злокачественных новообразований представлена эхоструктурами различных размеров и формы с превалированием гипоехогенных областей в очаге. Эхографическая текстура низкодифференцированных злокачественных характеризуется нечетким рисунком очага, эхоструктуры в очаге плохо дифференцируются, формируются гипоехогенные области, которые занимают весь очаг.

В качестве примера приводим три эталонные эндосонограммы и реперные схемы эхографических текстур из шести (рис. 1-3).

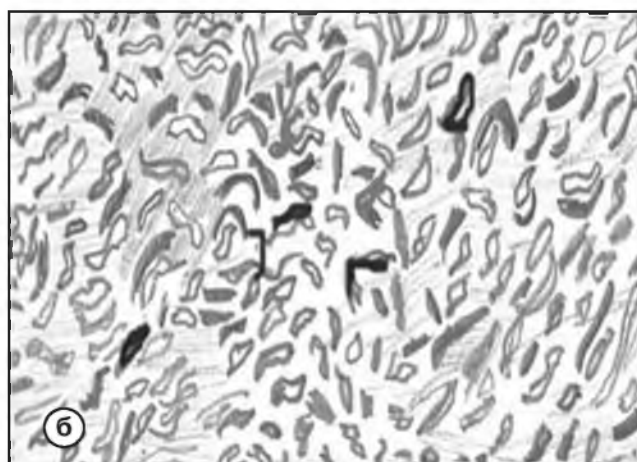
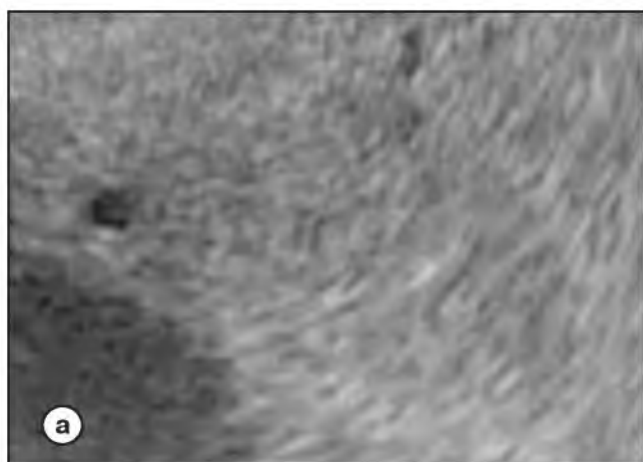


Рис. 1. Эхографическая текстура ПЖ в норме.
а - эталонная эндосонограмма;
б - реперная схема.

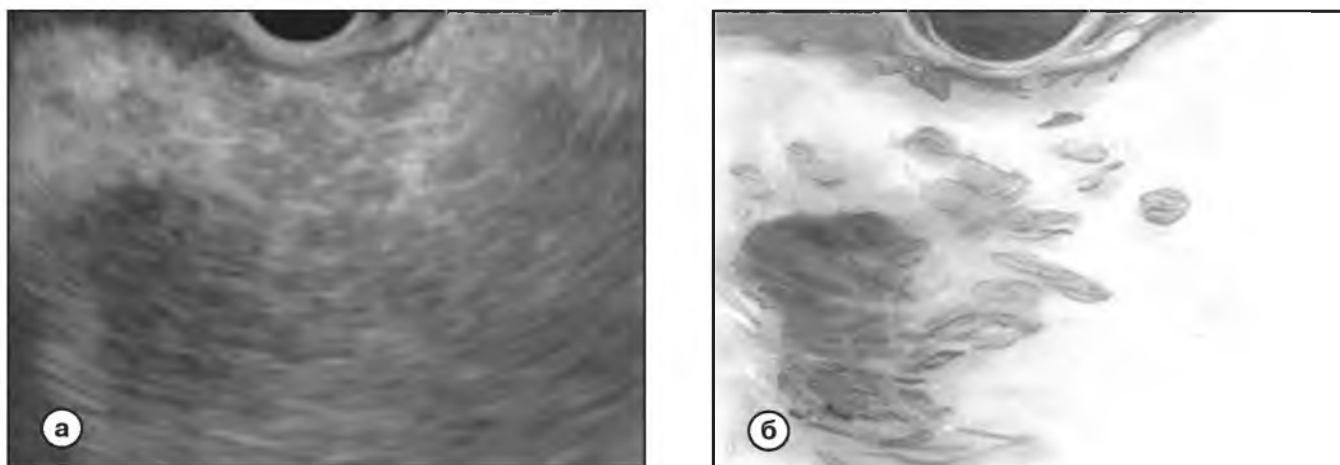


Рис. 2. Эхографическая текстура ХП преимущественно с очаговым характером изменений.
а - эталонная эндосонограмма;
б - реперная схема.

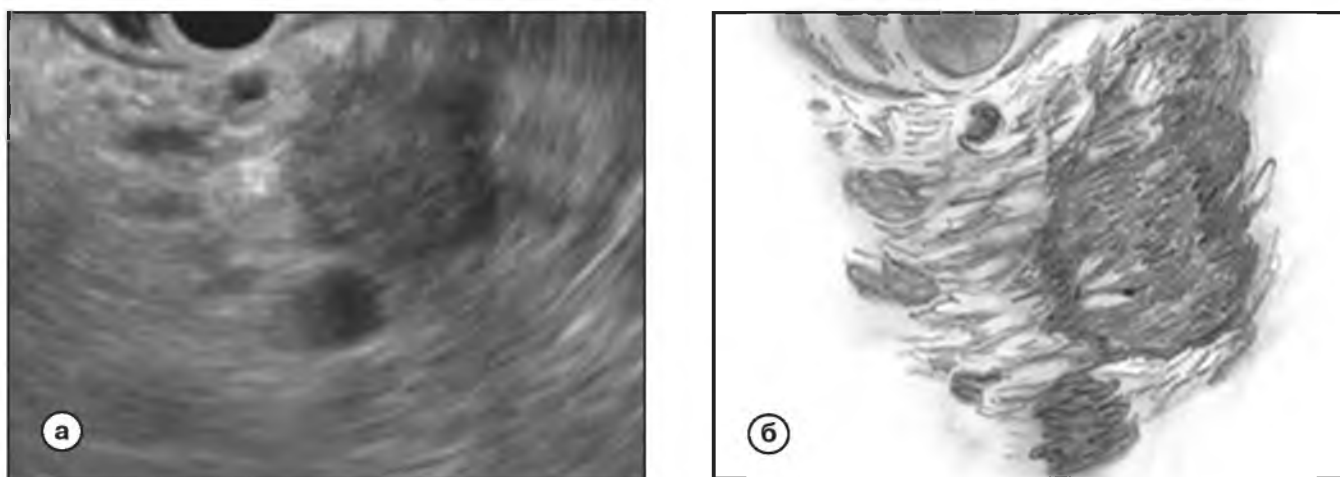


Рис. 3 Эхографическая текстура умеренно дифференцированных злокачественных новообразований ПЖ.
а - эталонная эндосонограмма;
б - реперная схема.

Таблица 1.

Результаты опроса экспертов по классу ω_p

репер	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Э1	0	0,20	0,40	0,62	0,72	0,80
Э2	0	0,20	0,50	0,65	0,75	0,82
Э3	0	0,25	0,45	0,55	0,55	0,75
Э4	0	0,15	0,48	0,48	0,60	0,85
Э5	0	0,10	0,50	0,65	0,70	0,82
Э6	0	0,15	0,40	0,58	0,65	0,80
Э7	0	0,12	0,48	0,55	0,70	0,85
Э8	0	0,15	0,45	0,55	0,70	0,78
Э9	0	0,16	0,46	0,58	0,67	0,81

Примечание: C_i – слайд с номером i ; $Э_j$ – эксперт с номером j .

Согласно алгоритму МСГНРП эксперты определили коэффициенты уверенности K_{ci} принадлежности пациентов к одному из патологических классов: панкреатит - ω_{II} и рак ПЖ - ω_P . Усредненные результаты по классу ω_P приведены в **таблице 1**.

Аналогично сформирована таблица результатов работы экспертов по классу ω_{II} .

Алгоритм диагностики работает следующим образом: специалист ультразвуковой диагностики, наблюдая реальную эндосонограмму, верифицирует ближайшую к ней эталонную сонограмму и реперную схему, выбирая по таблицам пару соответствующих усредненных коэффициентов уверенности. Большой коэффициент уверенности определяет принадлежность патологии к соответствующему классу, при этом экспертами так же определяется порог срабатывания решающего правила.

В рамках исследования проведены практические испытания, результаты которых признаны удовлетворительными и эталонные сонограммы успешно соотносятся специалистами ультразвуковой диагностики с визуализируемой патологией и определением ее места на шкале текстур, что позволило перейти от шкалы порядка к более мощной шкале интервалов, которая позволяет отобразить степень удаленности между типовыми текстурами по построенным на ней функциям принадлежности к классам ω_{II} и ω_P :

$$\mu_{\omega_{II}}(St) = \begin{cases} 0, & \text{если } St=1; \\ 1,7(St-1)^2, & \text{если } 1 \leq St < 1,5; \\ 0,85 - 1,7(St-2)^2, & \text{если } 1,5 \leq St < 2; \\ 0,85 - 0,1235(St-2)^2, & \text{если } 2 \leq St < 2,9; \\ 0,65 + 0,1235(St-3,8)^2, & \text{если } 2,9 \leq St < 3,8; \\ 0,65, & \text{если } 3,8 \leq St < 4,4; \\ -0,3125St + 2,025, & \text{если } 4,4 \leq St \leq 6. \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\omega_P}(St) = \begin{cases} 0, & \text{если } St=1; \\ 0,15(St-1)^2, & \text{если } 1 \leq St < 2; \\ 0,15 + 0,35(St-2)^2, & \text{если } 2 \leq St < 3; \\ 0,65 - 0,234(St-3,8)^2, & \text{если } 3 \leq St < 3,8; \\ 0,65, & \text{если } 3,8 \leq St < 4,4; \\ 0,09375St + 0,2375, & \text{если } 4,4 \leq St \leq 6. \end{cases} \quad (2)$$

Частные уверенности Ut_{ω_i} в анализируемых классах состояний $Il = II, P$ по признаку текстуры определяется соответствующими функциями принадлежности.

$$Ut_{\omega_{II}} = \mu_{\omega_{II}}(St); \quad (3)$$

$$Ut_{\omega_P} = \mu_{\omega_P}(St). \quad (4)$$

Согласно решающим правилам, по идентифицированной специалистом ультразвуковой диагностики сонограмме с точностью 0,1 определяется значение S и рассчитываются соответствующие значения функций

принадлежности, определяющих уверенности по дифференцируемой патологии $Ut_{\omega_{II}}$ и Ut_{ω_P} .

Патологическое состояние диагностируется, как уже указывалось, по максимальному значению:

$$\Omega = \max\{Ut_{\omega_{II}}, Ut_{\omega_P}\} \quad (5)$$

Контурсы очагового образования и их характер – еще одна высоко информативная характеристика, подлежащая анализу при диагностике очаговой патологии [10,12]. Характер контуров очага определяется его гистологической структурой, степенью его дифференцировки, особенностями паренхимы ПЖ, а также размерами. Как для воспалительных псевдотуморозных, так и опухолевых образований ПЖ характерны неровные контуры [6,9,12]. При очаговом ХП неровность обусловлена лобулярным характером воспалительных фиброзных изменений паренхимы органа в очаге, при котором сливные, неравномерно выраженные гипоехогенные дольки и участки паренхимы подчеркнуты фиброзными тяжами стромы [13]. При опухолях неровность контуров связана с неравномерностью опухолевой инфильтрации ПЖ, которая обусловлена разной интенсивностью инфильтративного роста в различных тканях, в частности в перинеуральных пространствах в сравнении с участками с более плотными соединительными тканями [14,15]. Сообщается, что ни одна опухоль не обладает такой способностью к перинеуральной инвазии как рак ПЖ [16]. Четкость контуров опухолевого образования, по мере нарастания степени его злокачественности снижается, в связи активным инфильтративным ростом низкодифференцированной аденокарциномы и ослаблением межклеточного сцепления тканей [15]. Кроме того, нарастающий массив опухолевых клеток маскирует строму опухоли, что наряду со снижением десмопластической ее реакции и стромальной инвазией [15] так же «стирает» границы опухоли. С этими же механизмами, вероятно, связана неравномерность контуров протоковой аденокарциномы, особенно низкодифференцированной. Отличительной особенностью крупных опухолей с размерами более 4 см., по нашим данным, является относительное увеличение выраженности и четкости контуров за счет компрессионного отека паренхимы ПЖ, граничащей с опухолью, с формированием гипоехогенного ободка, что не противоречит данными литературы [10]. Аналогично дифференциации патологии с использованием эхографической текстуры решали задачу с использованием эхографического признака характера контуров. Построена шкала эталонных изображений характера контуров при различной патологии. Определено 8 основных типов контуров очаговой патологии ПЖ, включающих ХП с лобулярными изменениями паренхимы, ХП с очаговыми изменениями, хронический очаговый панкреатит, аденокарциномы с различ-

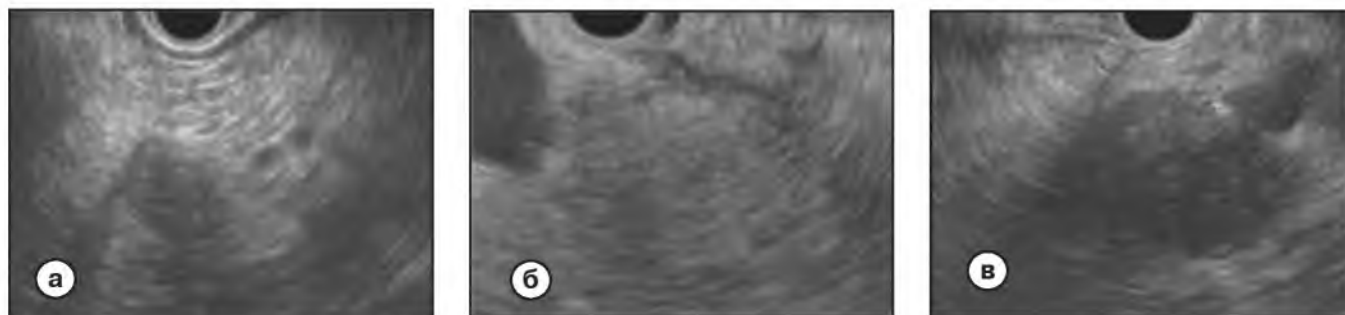


Рис. 4 Эталонные эндосонограммы характера контуров при различной патологии слева направо:
 а - эталон характера контуров при ХП с выраженной очаговостью изменений (контуров неровные, неравномерно выраженные за счет снижения их четкости на отдельных участках образования);
 б - эталон характера контуров при высокодифференцированной аденокарциноме (контуров неровные, четкость их сохраняется частично, но просматриваются по всей окружности образования, невыраженные, неравномерные);
 в - справа эталон характера контуров при умеренно дифференцированной аденокарциноме (контуров неровные, равномерно нечеткие на большей части образования, умеренно выраженные).

Таблица 2.

Частость эхопризнаков при очаговой патологии ПЖ и коэффициенты уверенности в характере патологии

№	Эхопризнаки	ХП (n=47)			Рак ПЖ (n=112)		
		абс.	частость	уверенность	абс.	частость	уверенность
1.	Округлая форма очага	7	0,15	-	64	0,57	0,15
2.	Овальная форма очага	15	0,32	0,1	16	0,14	-
3.	Признаки ХП в паренхиме ПЖ	40	0,85	0,45	15	0,13	-
4.	Гиперэхогенные включения в очаге	20	0,42	0,35	11	0,10	-
5.	Кисты в очаге	9	0,19	0,15	21	0,19	-
6.	Изменения ГПП, характерные для ХП	9	0,19	0,55	-	-	-
7.	Вирсунголитиаз	8	0,17	0,8	-	-	-
8.	Супрастенотическое расширение ГПП.	14	0,30	-	36	0,32	0,25
9.	Отсутствие кровотока в очаге	-	-	-	87	0,78	0,35
10.	Сосудистая инвазия	-	-	-	60	0,54	0,89
11.	Лимфаденопатия	15	0,32	0,45	90	0,80	0,7
12.	Признаки метастатической лимфаденопатии	-	-	-	56	0,50	0,75

ной дифференцировкой, отдельно выделяя низкодифференцированную аденокарциному больших размеров. В качестве примера приводим 3 эталонные эндосонограммы типовых контуров из 6: при хроническом очаговом панкреатите и аденокарциноме с высокой и умеренной дифференцировкой (**рис. 4**).

Для эталонов типовых контуров аналогично эталонов текстуры определена шкала Sk , на которой построены функций принадлежности к классам ω_{Π} и ω_{ρ} :

$$\mu_{\omega_{\Pi}}(Sk) = \begin{cases} 0,55, & \text{если } Sk \leq 1; \\ 0,55 - 0,028(Sk - 1)^2, & \text{если } 1 < Sk \leq 4; \\ 0,05 + 0,028(Sk - 7)^2, & \text{если } 4 < Sk \leq 7; \\ 0,05, & \text{если } Sk > 7; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{\rho}}(Sk) = \begin{cases} 0, & \text{если } Sk \leq 1; \\ 0,15 Sk - 0,015, & \text{если } 1 \leq Sk < 2; \\ 0,089 Sk - 0,028, & \text{если } 2 \leq Sk < 6,5; \\ 0,55, & \text{если } Sk \geq 6,5; \end{cases}$$

Аналогично (3), (4) и (5) для признака характер контура очага получены частные решающие правила, имеющие вид:

$$Uk_{\omega_{\Pi}} = \mu_{\omega_{\Pi}}(Sk) \quad (6)$$

$$Uk_{\omega_{\rho}} = \mu_{\omega_{\rho}}(Sk) \quad (7)$$

$$\Omega_i = \max\{Uk_{\omega_{\Pi}}, Uk_{\omega_{\rho}}\} \quad (8)$$

Специфика ультразвуковой диагностики как метода динамической визуализации не позволяет ограничиться применением статичных эталонов для дифференциации патологии ПЖ. Отдельные изображения не могут в полной мере отобразить все ультразвуковые характеристики объекта, поскольку адекватная визуализация достигается совокупной оценкой большого количества отдельных сканов, сгенерированных при

Таблица 3.

Результаты срабатывания решающих правил

Пациенты		Результаты наблюдения	
		Положительные	Отрицательные
Классы	$N_p = 55$	52	3
	$N_n = 42$	4	38

Примечание: N_p - количество пациентов класса ω_p ; N_n - количество пациентов класса ω_n .

изменении положения сканирующего датчика, а также сканированием смежных анатомических областей. С учетом этого анализировались эхопризнаки, которые не отражены в эталонных изображениях. К информативным признакам относим: форму очагового образования; состояние паренхимы ПЖ вне очага; гиперэхогенные включения и кисты в структуре образования; выраженность кровотока в нем. К дополнительным признакам не являющимся характеристикой очага, но имеющим решающее значение в дифференциации характера патологии относим:

- характер лимфаденопатии;
- отношение образования к сосудистым структурам;
- характер изменений главного панкреатического протока (ГПП).

При определении коэффициентов уверенности для этих признаков, необходимых для синтеза решающих правил, эксперты ориентировались на частоты их встречаемости в группе пациентов с ХП и раком ПЖ (табл. 2).

Уверенность в диагнозах панкреатит и рак на основании наличия анализируемых эхографических признаков определяются выражениями:

$$U_{\omega_n}(i+1) = U_{\omega_n}(i) + KY_{II}(i+1)[1 - U_{\omega_n}(i)] \quad (9)$$

$$U_{\omega_p}(i+1) = U_{\omega_p}(i) + KY_P(i+1)[1 - U_{\omega_p}(i)] \quad (10)$$

где U_{ω_n} и U_{ω_p} уверенность для i после включения в формулы всех признаков до i -го включительно; $KY_{II}(i+1)$, $KY_P(i+1)$, - коэффициенты уверенности из таблицы 1 для $i+1$ признака.

Уверенность в дифференцируемых заболеваниях панкреатит/рак определяется выражениями:

$$UP(q+1) = UP(q) + QP_{q+1}[1 - UP(q)], \quad (11)$$

$$UR(q+1) = UR(q) + QR_{q+1}[1 - UR(q)], \quad (12)$$

где UP и UR – уверенность в ω_n и ω_p соответственно;

$UP(1) = QP_1 = U_{\omega_n}$, $QP_2 = UR_{\omega_n}$, $QP_3 = U_{\omega_p}$, $UR(1) = QR_1 = U_{\omega_p}$, $QR_2 = UR_{\omega_p}$, $QR_3 = U_{\omega_n}$;

q – номер итерации.

Окончательный вывод о диагностируемой патологии принимается по максимальному значению рассчитываемых уверенностей (аналогично правилу (8)).

Синтезированные нечеткие математические модели (11) и (12), математическое моделирование и работа экспертов в рамках МСГНРП обеспечивают уверенность в правильной диагностике свыше величины 0,9. Для проверки полученной точности диагностики сформирована контрольная выборка, включающая 55 пациентов с верифицированным диагнозом и 42 пациента с хроническим панкреатитом. При этом эксперты не рассматривали альтернативных вариантов относительно классов ω_p и ω_n , в связи с тем, что полученное решающее правило решает задачу разделения двух классов: рака ПЖ, который условно определен как основной класс и панкреатита как альтернативного по отношению к ω_p классу.

В ходе контроля качества работы решающих правил (11) и (12) определялось количество ошибок, совершаемых этими правилами по пациентам, имеющим исследуемую патологию (классы ω_p , ω_n). Результаты контрольных срабатываний приведены в таблице 3.

По результатам срабатывания решающих правил из таблицы 3 следует, что показатель диагностической чувствительности, характеризующий качество срабатывания решающего правила (12) для класса ω_p равен 0,95. Показатель диагностической специфичности характеризующий качество срабатывания решающего правила (11) для класса ω_n равен 0,90. Для двух классов ДЭ = 0,93. Приведенные расчеты согласуются с результатами математического моделирования и экспертного оценивания.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о высокой информативности эхографической текстуры и характере контуров для диагностики хронического очагового панкреатита и рака ПЖ. Это позволяет рекомендовать эти характеристики для включения в состав гибридных нечетких решающих правил, обеспечивающих дифференциальную диагностику изучаемой патологии. При этом, нечеткие решающие правила без дополнительных информативных признаков не могут использоваться для надежной дифференциации доброкачественной и злокачественной очаговой патологии. Высокая информативность эндосонографии обеспечивается при совместном применении моделей,

использующих эталонные эндосонограммы эхографической текстуры и характера контуров очаговых образований ПЖ. Такой комплексный подход позволяет объективизировать данные ЭУС и достигать уверенно-

стей в правильной диагностике по классам панкреатит $\omega\text{П}$ и рак $\omega\text{Р}$ – 0,9 и выше, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию. ■

Список литературы

1. 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; 12: 415-32.

<https://doi.org/10.2147/CEG.S195714>

2. Покатаев И.А., Кудашкин Н.Е., Алиева С.Б. и др. Рак поджелудочной железы: Клинические рекомендации. М.; Министерство Здравоохранения РФ. 2021; 67.

3. Gandhi N.S., Feldman M.K., Le O., Morris-Stiff G. Imaging mimics of pancreatic ductal adenocarcinoma. *Abdom Radiol (NY)*. 2018; 43(2): 273-284.

<https://doi.org/10.1007/s00261-017-1330-1>

4. Klöppel G., Adsay N.V. Chronic pancreatitis and the differential diagnosis versus pancreatic cancer. *Arch Pathol Lab Med*. 2009; 133(3): 382-387.

5. Kitano M., Yoshida T., Itonaga M., et al. Impact of endoscopic ultrasonography on diagnosis of pancreatic cancer. *J Gastroenterol*. 2019; 54(1): 19-32.

<https://doi.org/10.1007/s00535-018-1519-2>

6. Hawes R.H., Fockens P. Endosonography. Elsevier Inc. 2006; 329.

7. Кореневский 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.

8. Аабакен Л., Агапов М.Ю., Артемьев А.И. и др. ЭУС-бука: Руководство по эндоскопической ультрасонографии. М.: Изд. дом «Практическая медицина». 2013; 399.

9. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Общая ультразвуковая диагностика (Под

ред. В.В. Митькова.) 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом «Видар». М., 2019; 756.

10. Неустроев В.Г., Ильичёва Е.А., Расулов Р.И. и др. Возможности эндоскопической ультрасонографии в определении степени дифференцировки протоковой аденокарциномы поджелудочной железы. *Бюл. ВСНЦ СО РАМН*. 2006; 5(51): 137-140.

11. Кармазановский Г.Г. Дифференциальная диагностика и определение резектабельности рака поджелудочной железы с помощью МСКТ и МРТ. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019; 24(3): 22-35.

12. Солоднина Е.Н. Эндоскопическое ультразвуковое исследование в диагностике хирургических заболеваний органов панкреатобилиарной зоны: Дисс. докт. мед. наук. М., 2016; 240.

13. Wiersema M.J., Haves R.H., Lehman G.A., et al. Prospective evaluation of endoscopic ultrasonography endoscopic retrograde cholangiopancreatography in patients with chronic abdominal pain of suspected pancreatic origin. *Endoscopy*. 1993; 25: 555-564.

14. Струков А.И., Серов В.В. Патологическая анатомия: учебник 5-е изд., стер. М.: Литтерра, 2010; 848.

15. Филиппова Е.М. Прогностическая значимость степени гистологической злокачественности протоковой аденокарциномы поджелудочной железы: Дисс. канд. мед. наук. М., 2015; 118.

16. Сетдикова Г.Р., Паклина О.В., Шабунин А.В. и др. Морфологическая оценка распространенности протоковой аденокарциномы поджелудочной железы. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2015; 23(1): 130-136.

References

1. 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; 12: 415-32.

<https://doi.org/10.2147/CEG.S195714>

2. Pokataev IA, Kudashkin NE, Alieva SB, et al. Pancreatic cancer: Clinical recommendations. M.; Ministerstvo Zdravookhraneniya RF. 2021;67 [In Russ].

3. Gandhi NS, Feldman MK, Le O, Morris-Stiff G. Imaging mimics of pancreatic ductal adenocarcinoma. *Abdom Radiol (NY)*. 2018; 43(2): 273-284.

<https://doi.org/10.1007/s00261-017-1330-1>

4. Klöppel G, Adsay NV. Chronic pancreatitis and the differential diagnosis versus pancreatic cancer. *Arch Pathol Lab Med*. 2009; 133(3): 382-387.

5. Kitano M, Yoshida T, Itonaga M, et al. Impact of endoscopic ultrasonography on diagnosis of pancreatic cancer. *J Gastroenterol*. 2019; 54(1): 19-32.

<https://doi.org/10.1007/s00535-018-1519-2>

6. Hawes RH, Fockens P. Endosonography. Elsevier Inc. 2006; 329.

7. Korenevskii NA, Rodionova SN, Khripina II. Methodol-

ogy of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems. *Staryi Oskol: TNT*. 2019; 472 [In Russ].

8. Aabaken L, Agapov MYu, Artem'ev AI, et al. EUSbuka: A Guide to endoscopic ultrasonography. M.: IZDATEL'SKII DOM «PRAKTICHESKAYA MEDITSINA». 2013; 399 [In Russ].

9. Practical guide to ultrasound diagnostics. General ultrasound diagnostics (Pod red. VV Mit'kova.) 3-e izd., pererab. i dop. M.: Izdatel'skii dom Vidar. M., 2019; 756 [In Russ].

10. Neustroev VG, Il'icheva EA, Rasulov RI, et al. The possibilities of endoscopic ultrasonography in determining the degree of differentiation of ductal adenocarcinoma of the pancreas. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*. 2006; 5(51): 137-140 [In Russ].

11. Karmazanovskii GG. Differential diagnosis and determination of pancreatic cancer resectability using MSCT and MRI. *Annaly khirurgicheskoi gepatologii*. 2019; 24(3): 22-35 [In Russ].

12. Solodinina EN. Endoscopic ultrasound examination in the diagnosis of surgical diseases of the pancreatobiliary zone: Dr. med. sci. diss. Moscow, 2016; 240 [In Russ].

13. Wiersema MJ, Haves RH, Lehman GA, et al. Prospective evaluation of endoscopic ultrasonography end endoscopic retrograde cholangiopancreatography in patients with chronic abdominal pain of suspected pancreatic origin. *Endoscopy*. 1993; 25: 555-564.

14. Strukov AI, Serov VV. Pathological anatomy: textbook. 5-e izd., ster. M.: Litterra, 2010; 848 [In Russ].

15. Filippova EM. Prognostic significance of the degree of histological malignancy of pancreatic ductal adenocarcinoma: Cand. med. sci. diss. Moscow, 2015; 118 [In Russ].

16. Setdikova GR, Paklina OV, Shabunin AV, et al. Morphological assessment of the prevalence of pancreatic ductal adenocarcinoma. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2015; 23(1): 130-136 [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

БЕЛОЗЕРОВ ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ – [ORCID: 0000-0003-2028-746X]

к.м.н., врач-эндоскопист, ОБУЗ Курская областная многопрофильная клиническая больница, 305004 Российская Федерация, Курская область, г. Курск, ул. Сумская, 45а;

ОХОТНИКОВ ОЛЕГ ИВАНОВИЧ – [ORCID: 0000-0002-6685-3183]

д.м.н., профессор, врач РЭДЛ, ОБУЗ Курская областная многопрофильная клиническая больница, 305004 Российская Федерация, Курская область, г. Курск, ул. Сумская, 45а;

кафедра лучевой диагностики и терапии института непрерывного образования, ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет,

305041 Российская Федерация, Курская область, г. Курск, ул. К. Маркса, 3;

КОРЕНЕВСКИЙ НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ – [ORCID: 0000-0003-2048-0956]

д.м.н., профессор, кафедра биомедицинской инженерии,

ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет,

305040 Российская Федерация, Курская область, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94;

ГРИГОРЬЕВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ – [ORCID: 0000-0002-4102-1516]

д.м.н., профессор, врач отделения ран и раневой инфекции,

ОБУЗ Курская областная многопрофильная клиническая больница,

305004 Российская Федерация, Курская область, г. Курск, ул. Сумская, 45а;

кафедра хирургических болезней института непрерывного образования,

ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет,

305041 Российская Федерация, Курская область, г. Курск, ул. К. Маркса, 3.

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование проведено без спонсорской поддержки.