

Исследование воздействия данных пластин на ионный состав и кислотно-основное состояние модельного раствора отработанного диализата показало, что они способствуют гидролизу мочевины, существенно не влияя при этом на ионы, изменение концентрации которых составило не более 5 % по Na^+ и Cl^- и не более 8 % по Ca^{2+} .

Список литературы:

1. Peired A.J., Mazzinghi B., Chiara L., Guzzi F., Lasagni L., Romagnani P., Lazzeri E. Bioengineering strategies for nephrologists: Kidney was not built in a day // Expert Opinion on Biological Therapy. 2020. Vol. 20. № 5. PP. 467-480.
2. Deignan J.L., Cederbaum S.D., Grody W.W. Contrasting features of urea cycle disorders in human patients and knockout mouse models // Mol. Genet. Metab. 2008. Vol. 93. № 1. PP. 7-14.
3. Francis P.S., Lewis S.W., Lim K.F. Analytical methodology for the determination of urea: Current practice and future trends // Trac. Trends Anal. Chem. 2002. Vol. 21. № 5. PP. 389-400.
4. Weiner I.D., Mitch W.E., Sands J.M. Urea and ammonia metabolism and the control of renal nitrogen excretion // Clin. J. Am. Soc. Nephrol. 2015. Vol. 10. № 8. PP. 1444-1458.
5. Shinaberger C.S., Kilpatrick R.D., Regidor D.L., McAllister C.J., Greenland S., Kopple J.D. Kalantar-Zadeh Longitudinal associations between dietary protein intake and survival in hemodialysis patients // Am. J. Kidney Dis. 2006. Vol. 48. № 1. PP. 37-49.
6. Vanholder R., Gryp T., Glorieux G. Urea and chronic kidney disease: The comeback of the century (in uraemia research)? // Nephrology Dialysis Transplantation. 2018. Vol. 33. № 1. PP. 4-12.
7. Choi J., Chung J. Evaluation of urea removal by persulfate with UV irradiation in an ultrapure water production system // Water Research. 2019. Vol. 158. PP. 411-416.
8. Long L., Bu Y., Chen B., Sadiq R. Removal of urea from swimming pool water by UV/VUV: The roles of additives, mechanisms, influencing factors, and reaction products // Water Research. 2019. Vol. 161. PP. 89-97.
9. Hinds B., Guozheng Shao Apparatus and method for urea photo-oxidation / US Patent 10894118 A1. 2020.
10. Березов Т.Т., Буробина С.С., Волкова Л.В., Евграфов В.Г., Познанская А.А., Яровская Г.А. Руководство к лабораторным занятиям по биологической химии. – М.: Медицина, 1976. С. 294.

Николай Александрович Базаев,
д-р техн. наук, доцент, профессор,
Институт биомедицинских систем,
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «Московский
институт электронной техники»,
Анастасия Валерьевна Бакланова,
инженер,
научно-исследовательская лаборатория систем
искусственной биомедицинской регуляции,
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «Московский
институт электронной техники»,
г. Москва, г. Зеленоград,
Евгений Александрович Орлов,
заведующий лабораторией,
ООО «Бета-Тех Медицина»,
г. Москва,
Борис Михайлович Путря,
канд. техн. наук, ведущий инженер,
Институт биомедицинских систем,
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «Московский
институт электронной техники»,
г. Москва, г. Зеленоград,
Юрий Владимирович Тарасов,
генеральный директор,
ООО «Бета-Тех Медицина»,
г. Москва,
e-mail: www.nastasu@mail.ru

Н.А. Корневский, О.И. Охотников, В.А. Белозеров, С.Н. Родионова

Нечеткие модели дифференциальной диагностики рака поджелудочной железы и хронического панкреатита по данным эндоскопической ультрасонографии

Аннотация

Рассматриваются вопросы синтеза нечетких решающих правил для дифференциальной диагностики рака поджелудочной железы и хронического очагового панкреатита по системе информативных эхографических признаков, получаемых посредством эндоскопической ультрасонографии. В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в правильной интерпретации характера патологии по выбранному классу заболеваний достигает величины 0,9 и выше, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию.

Введение

В настоящее время клиническая медицина обладает большим арсеналом разнообразных диагностических методов исследования органов панкреатобилиарной зоны. При этом их бурное развитие не позволяет достичь эффективного результата [1]. Своевременное выявление характера патологии до настоящего времени представляет большие трудности. Одними из факторов, обуславливающих сложности дифференциальной диагностики опухолевых и воспалительных поражений поджелудочной железы (ПЖ), являются трудная анатомическая доступность органа, общность клинических проявлений, идентичность изменений в ПЖ, выявленных лучевыми методами диагностики, сложность получения материала для гис-

тологической и цитологической верификации [2]-[4]. Современные исследования показали высокую эффективность использования методики эндоскопической ультрасонографии (ЭУС) для выявления заболеваний органов панкреатобилиарной зоны [5]-[9], диагностика которых является сложной задачей клинической медицины [10]. Однако практикующие клиницисты считают, что ЭУС является сложным для освоения и в значительной степени оператор-зависимым методом, результаты которого часто субъективны и существенно зависят от опыта исследователя [11], [12]. ЭУС обладает высокой чувствительностью в диагностике патологии ПЖ, однако дифференциация выявленной патологии значительно затруднена из-за сходства ультразвуковой эхосемiotики патологии и сложности интерпретации изображений.

Одним из путей решения проблемы объективизации и точности анализа медицинских изображений, в том числе и эндосонограмм, является использование технологии мягких вычислений, реализуемых современными информационными медицинскими системами. В рамках этой технологии в Юго-Западном государственном университете разработана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), отличительной особенностью которой является активное взаимодействие естественного интеллекта врачей (клиническое мышление) и интеллекта инженера-когнитолога с искусственным гибридным интеллектом. Клиническое мышление экспертов восполняет недостаток необходимых статистических данных и позволяет при взаимодействии с инженером-когнитологом строить формальные модели для плохо формализуемых задач [13]. С использованием МСГНРП в работах [14], [15] были получены нечеткие решающие правила дифференциальной диагностики хронического панкреатита (ХП) и рака ПЖ по эталонным эндосонограммам, отображающим эхографическую текстуру и характер контуров очаговых образований ПЖ.

Однако при всей привлекательности применения диагностического алгоритма с использованием визуальных эталонных эндосонограмм необходимо учитывать, что отдельно взятые изображения не могут отобразить все ультразвуковые характеристики объекта, включающие в себя сонографические дифференциально-диагностические критерии. Это отчасти связано со спецификой лучевых методов диагностики, при которых адекватная визуализация объекта исследования достигается совокупной оценкой большого количества отдельных сканов, сгенерированных при изменении положения сканирующего датчика. С учетом этого нами были организованы специальные исследования, в ходе которых помимо основных сонографических характеристик дифференцируемой патологии, отраженных в эталонных сонограммах (эхографическая текстура, характер контуров очаговых образований), изучались диагностические возможности группы дополнительных сонографических признаков, которые нельзя в полной мере оценить при анализе эталонных эндосонограмм.

Объединение информации, описывающей эхографическую текстуру и характер контуров очаговых образований ПЖ с группой дополнительных сонографических признаков с использованием МСГНРП, позволило получить гибридные нечеткие решающие правила дифференциальной диагностики ХП и рака ПЖ с уверенностью в правильном диагнозе по выбранному классу заболеваний не ниже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию.

Методы исследования

В работах [14], [15] было показано, что повышение качества дифференциальной диагностики ХП и рака ПЖ может

быть достигнуто при использовании специально сформированных изображений эталонных эндосонограмм, отображающих эхографическую текстуру и характер контуров очаговых образований ПЖ.

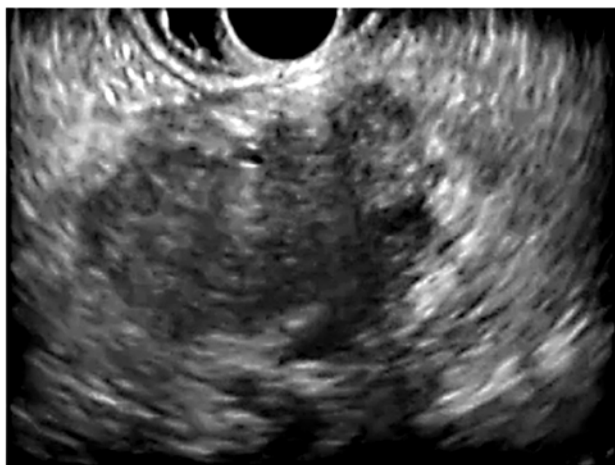
Алгоритм формирования изображений эталонных эндосонограмм описан в работах [14], [15]. Для сформированных и отобранных экспертами изображений формировалась шкала эхотекстур, состоящая из совокупности сонографических изображений в порядке нарастания патологических изменений паренхимы ПЖ от нормальной, через хронический очаговый панкреатит, до аденокарциномы с низкой степенью дифференцировки. Собственные исследования и экспертный анализ показали, что, анализируя сонограмму, врач визуализирует некоторую интегральную картину единого целостного изображения, практически не разделяя его на составляющие, что относится и к эхографической текстуре. Для надежной классификации объектов информативными считали следующие параметры, описывающие составляющие текстуры: яркость, форму, размеры и пространственное соотношение элементов текстуры. Все эти элементы единой текстуры оценивали как целое.

Визуальный анализ полученных изображений показал, что опытный врач ультразвуковой диагностики достаточно надежно выделяет шесть основных характерных типов эхографической текстуры ПЖ, позволяющих осуществлять искомую классификацию. При этом меньшая детализация, по мнению экспертов, приводит к снижению качества диагностики, а большая детализация вызывает перенапряжение функции селективности внимания и потерю четкости восприятия врача, принимающего диагностические решения.

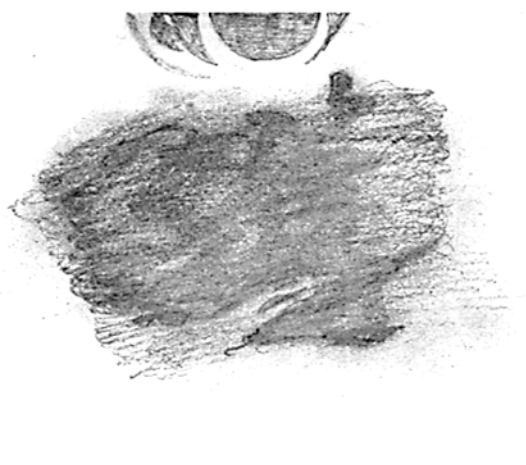
Учитывая особенности восприятия зрительных образов и различный опыт будущих пользователей, типовые эхотекстуры представили двумя изображениями. Первое изображение характеризует типовую (эталонную) сонограмму, а второе – искусственно созданное, идеализированное изображение (репер), позволяющее исследователю сосредоточиться на том, какую реальную сонограмму он увидит в той или иной диагностической ситуации. Такое двойное отображение типовой эхотекстуры, на наш взгляд, позволит исследователю более точно акцентировать свое внимание на диагностируемой патологии, обеспечив в дальнейшем более точную диагностику [14]. В качестве примера на *рис. 1* представлены эталонная и реперная сонограммы для текстуры протоковой аденокарциномы.

В соответствии с общими рекомендациями МСГНРП перед восемью экспертами была поставлена задача для каждой из типовых эхотекстур определить коэффициенты уверенности Kc_i в отнесении пациентов к одному из классов состояний: панкреатит – $\omega_{\text{П}}$ и рак ПЖ – $\omega_{\text{Р}}$.

Результат работы экспертов и усредненные результаты по классу $\omega_{\text{Р}}$ приведен в *табл. 1*.



а)



б)

Рис. 1. Эхографическая текстура протоковой аденокарциномы ПЖ: а) эталонная эндосонограмма; б) реперная схема

Таблица 1

Результаты опроса экспертов по классу ω_p

Эталон	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
Средне е	0	0,16	0,46	0,58	0,67	0,81
Примечание – C_i – слайд с номером i ; $Э_i$ – эксперт с номером j .						

Аналогично была сформирована таблица результата опроса экспертов по классу ω_n .

Усредненные коэффициенты уверенности Kc_i , по существу, можно использовать как основу для диагностического алгоритма, в соответствии с которым специалист ультразвуковой диагностики, наблюдая реальную эндосонограмму, выбирает ближайшую к ней эталонную сонограмму и по таблицам выбирает пару соответствующих усредненных коэффициентов уверенности. Решение принимается в пользу класса с большим коэффициентом уверенности при условии превышения им принятого экспертами порога.

В ходе проведенных исследований было установлено, что специалисты ультразвуковой диагностики уверенно оценивают сходство наблюдаемых ими реальных эндосонограмм с эталонными сонограммами и реперными изображениями и их место на шкале эхотекстур. Это создает предпосылки к значительному увеличению точности в принимаемых решениях путем перехода от шкалы порядка к более мощной шкале интервалов St с отображением на ней меры близости между типовыми эхоструктурами ПЖ. Такая шкала St позволяет судить о том, насколько близко располагается объект наблюдений со «своей картинкой» к исследуемым классам состояний по построенным на ней функциям принадлежности к классам ω_n и ω_p :

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

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

Частные уверенности Ut_{ω_l} в исследуемых классах состояний $l = n, p$ по признаку текстуры определяются соответствующими функциями принадлежности:

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

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

Логика работы этих решающих правил заключается в том, что по выбранной врачом сонограмме с точностью 0,1 определяется значение S с расчетом соответствующих значений функций принадлежности, которые определяют уверенности по исследуемым классам состояний Ut_{ω_n} и Ut_{ω_p} .

Принятие решения о принадлежности пациента к одному из исследуемых классов состояний осуществляется по максимальному значению Ut_{ω_l} :

$$\Omega_l = \max \{ Ut_{\omega_n}, Ut_{\omega_p} \}. \quad (5)$$

Еще одним информативным объектом дифференциальной диагностики, выделяемым при анализе сонограмм, является наличие и характер контуров анализируемых очагов [15]. Аналогично получению эталонных изображений текстуры эксперты решали задачу получения изображения эталонных контуров. В область интереса старались включить участок контура образования, содержащий как можно больше характерных признаков патологии ПЖ обследуемого пациента. Визуальный анализ полученных изображений показал, что опытный врач ультразвуковой диагностики достаточно надежно выделяет восемь основных характерных контуров очаговой патологии ПЖ, позволяющих осуществлять искомую классификацию.

Для эталонных изображений контуров аналогично текстуре была определена шкала Sk с построением на ней функций принадлежности к классам ω_n и ω_p :

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

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

Аналогично выражениям (3)-(5) для признака характер контура очага были получены частные решающие правила вида

$$Uk_{\omega_n} = \mu_{\omega_n}(Sk); \quad (6)$$

$$Uk_{\omega_p} = \mu_{\omega_p}(Sk); \quad (7)$$

$$\Omega_l = \max \{ Uk_{\omega_n}, Uk_{\omega_p} \}. \quad (8)$$

Исходя из того, что отдельные изображения не могут отобразить все ультразвуковые характеристики объекта и сонографические дифференциально-диагностические критерии, нами были организованы специальные исследования, в ходе которых помимо основных сонографических характеристик дифференцируемой патологии, отраженных в эталонных сонограммах (очаговый характер патологии, эхографическая текстура и характер контуров), изучались диагностические возможности анализа группы сонографических признаков, которые нельзя в полной мере оценить при анализе отдельно взятых эндосонограмм. В эту группу признаков были включены: форма очага, состояние паренхимы ПЖ, наличие гиперэхогенных включений и кист в структуре очагового образования, характер кровотока в образовании. Кроме того, оценивались дополнительные признаки, которые не являются характеристикой очага, но имеют существенное, а иногда и

решающее значение в дифференциальной диагностике очаговой патологии ПЖ. В эту группу вошли: наличие и характер лимфаденопатии, отношение очага к сосудистым структурам, наличие и характер изменений главного панкреатического протока (ГПП).

По этим признакам были определены частоты встречаемости данных признаков в группе пациентов с ХП и раком ПЖ, которые служили экспертам, подготовленным к синтезу гибридных нечетких решающих правил, ориентиром в выборе соответствующих коэффициентов уверенности. В табл. 2 приведены частоты встречаемости эхографических признаков у пациентов с очаговой патологией ПЖ и коэффициенты уверенности в характере очаговой патологии.

Уверенность в диагнозах панкреатит ω_{II} и рак ω_P на основании наличия анализируемых эхографических признаков определяется выражениями

$$Ue_{\omega_{II}}(t+1) = Ue_{\omega_{II}}(i) + KY_{II}(i+1)[1 - Ue_{\omega_{II}}(i)]; \quad (9)$$

$$Ue_{\omega_P}(i+1) = Ue_{\omega_P}(i) + KY_P(i+1)[1 - Ue_{\omega_P}(i)], \quad (10)$$

где $Ue_{\omega_{II}}$ и Ue_{ω_P} – уверенность в классах ω_{II} и ω_P после включения в формулы признаков вплоть до i -го включительно; $KY_{II}(i+1)$, $KY_P(i+1)$ – коэффициенты уверенности из табл. 1 для $(i+1)$ -го признака.

В соответствии с общими рекомендациями МСГНПП в исследуемых классах заболеваний 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_{II} и ω_P соответственно; $UP(1) = QP_1 = Ut_{\omega_{II}}$; $QP_2 = UR_{\omega_{II}}$; $QP_3 = Ue_{\omega_{II}}$; $UR(1) = QR_1 = Ut_{\omega_P}$; $QR_2 = UR_{\omega_P}$; $QR_3 = Ue_{\omega_P}$; q – номер итерации.

Решение о классификации принимается по максимальному значению рассчитываемых уверенностей аналогично выражению (8).

Результаты

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в принимаемых решениях с использованием гибридных нечетких моделей (11) и (12) превышает величину 0,9. Для подтверждения полученной точности классификации была сформирована контрольная выборка из пациентов с верифицированным диагнозом в количестве 60 человек для класса ω_{II} и 45 для класса ω_P .

При формировании типовых эхотекстур эксперты не рассматривали альтернативных вариантов относительно классов ω_P и ω_{II} . 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_{II}).

Результаты контрольных испытаний приведены в табл. 3.
Таблица 3

Результаты срабатывания решающих правил

Пациенты		Результаты наблюдения	
		Положительные	Отрицательные
Классы	$N_P = 45$	42	36
	$N_{II} = 60$	2	58

Примечание: N_P – количество пациентов класса ω_P ; N_{II} – количество пациентов класса ω_{II} .

По результатам срабатывания решающих правил определялись такие показатели качества классификации, принятые в теории распознавания образов, как диагностическая специфичность (ДС), диагностическая чувствительность (ДЧ) и диагностическая эффективность (ДЭ) [13].

Из табл. 3 следует, что показатель диагностической чувствительности, характеризующий качество срабатывания решающего правила (12), для класса ω_P равен 0,94. Показатель диагностической специфичности, характеризующий качество срабатывания решающего правила (11), для класса ω_{II} равен 0,96. Для двух классов ДЭ = 0,95.

Приведенные результаты расчетов подтверждают результаты математического моделирования и экспертного оценивания.

Список литературы:

1. Рябин Н.С., Катрич А.Н., Быков М.И., Сташ П.Г. Возможности эндоскопической ультрасонографии в диагностике солидных новообразований поджелудочной железы // Кубанский научный медицинский вестник. 2018. Т. 25. № 6. С. 177-183.
2. Klöppel G., Adsay N.V. Chronic pancreatitis and the differential diagnosis versus pancreatic cancer // Arch. Pathol. Lab. Med. 2009. Vol. 133. № 3. PP. 382-387.

Таблица 2

Частость встречаемости эхографических признаков у пациентов с очаговой патологией ПЖ и коэффициенты уверенности в характере очаговой патологии

№ п/п	Эхографические признаки	Рак ПЖ (n = 109)			ХП (n = 40)		
		абс.	частость	уверенность	абс.	частость	уверенность
1	Округлая форма очагового образования	63	0,58	0,15	6	0,15	–
2	Овальная форма очагового образования	16	0,15	–	14	0,35	0,1
3	Признаки ХП в окружающей паренхиме ПЖ	15	0,14	–	38	0,95	0,45
4	Гиперэхогенные включения в структуре очага	11	0,10	–	19	0,42	0,35
5	Кисты в структуре очага	21	0,19	–	9	0,23	0,15
6	Изменения ГПП, характерные для ХП	–	–	–	8	0,20	0,55
7	Вирсунголитиаз	–	–	–	7	0,18	0,8
8	Расширение ГПП по типу супрастенотического расширения	35	0,32	0,25	14	0,35	–
9	Отсутствие кровотока в образовании	87	0,79	0,35	–	–	–
10	Сосудистая инвазия	60	0,55	0,89	–	–	–
11	Лимфаденопатия	90	0,82	0,70	15	0,38	0,45
12	Признаки метастатической лимфаденопатии	55	0,50	0,75	–	–	–

3. *Неустроев В.Г., Ильичева Е.И., Владимиров А.А.* Эндоскопическая ультрасонография в дифференциальной диагностике хронического панкреатита и опухолей поджелудочной железы // Клиническая эндоскопия. 2007. Т. 12. № 3. С. 31-43.
4. *Gandhi N.S., Feldman M.K., Le O., Morris-Stiff G.* Imaging mimics of pancreatic ductal adenocarcinoma // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2018. Vol. 43. № 2. PP. 273-284.
5. *Kitano M., Yoshida T., Itonaga M. et al.* Impact of endoscopic ultrasonography on diagnosis of pancreatic cancer // *J. Gastroenterol.* 2019. Vol. 54. № 1. PP. 19-32.
6. *Canto M.I., Harinck F., Hruban R.H. et al.* International Cancer of the Pancreas Screening // Consortium summit on the management of patients with increased risk for familial pancreatic cancer. 2013. Vol. 62. № 3. PP. 339-347.
7. *Welinsky S., Lucas A.L.* Familial Pancreatic Cancer and the Future of Directed Screening // *Gut Liver.* 2017. Vol. 15. № 6. PP. 761-770.
8. *Старков Ю.Г., Солоднина Е.Н., Шишин К.В. и др.* Эндосонаграфия в диагностике заболеваний органов гепатопанкреатобилиарной зоны // Хирургия. 2009. № 6. С. 10-16.
9. *Yousaf M.N., Chaudhary F.S., Ehsan A., Suarez A.L., Muniraj T., Jamidar P., Aslanian H.R., Farrell J.J.* Endoscopic ultrasound and the management of pancreatic cancer // *BMJ Open Gastroenterol.* 2020. Vol. 7. № 1. PP. 1-11.
10. *Кабанов М.Ю., Беликова М.Я., Семенов К.В. и др.* Современные подходы к лучевой диагностике новообразований периапулярной зоны двенадцатиперстной кишки // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. 2020. Т. 15. № 4. С. 107-115.
11. *Бурдюков М.С., Нечитай А.М.* Холедохолитиаз: обзор литературы // Доказательная гастроэнтерология. 2020. Т. 9. № 4. С. 55-66.
12. *Hawes R.H., Fockens P.* Endosonography. – United States. Florida: Elsevier-Saunders, 2006. 329 p.
13. *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.
14. *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. Т. 4. № 3. С. 64-73.
15. *Белозеров В.А., Корневский Н.А., Григорьев С.Н., Аksenov В.В.* Дифференциальная диагностика очаговой патологии поджелудочной железы по данным эндоскопической ультрасонографии на основе нечетких математических моделей // Вестник новых медицинских технологий. 2021. Т. 28. № 4. С. 107-112.

*Николай Алексеевич Корневский,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
Олег Иванович Охотников,
д-р мед. наук, профессор, зав. отделением,
отделение рентгенохирургических методов
диагностики и лечения № 2,
БМУ «Курская областная клиническая больница»,
Владимир Анатольевич Белозеров,
канд. мед. наук, врач,
отделение эндоскопии,
БМУ «Курская областная клиническая больница»,
Софья Николаевна Родионова,
преподаватель,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru*

О.В. Тихонова, Т.Г. Авачёва, Н.В. Гречушкина

Тренды развития цифровых технологий в медицине

Аннотация

Внедрение цифровых технологий приводит к трансформации сферы здравоохранения и изменению характера оказания медицинских услуг. Статья посвящена обзору российских и зарубежных практик применения цифровых технологий для решения задач клинической медицины, научных исследований в сфере поиска новых методов и средств диагностики и лечения заболеваний, управления организациями здравоохранения.

Введение

На современном этапе социокультурной эволюции общества изменения, вызванные интеграцией цифровых технологий в разные сферы человеческой деятельности, проявились не только в производственных отраслях, связанных с использованием высокотехнологичного оборудования, но и в тех, которые традиционно считались менее подверженными технологизации в силу своего характера: в искусстве, гуманитарных науках, образовании и медицине. Цифровизация сегодня выступает ключевым вектором развития отраслей, причиной и источником изменений, влияющих на процессы или аспекты той или иной сферы жизни и деятельности человека. Помимо национальных отраслевых трендов, определяющих направления развития отраслей в конкретной стране и обусловленных ее национальной культурной спецификой, государственной политикой и

уровнем развития науки и техники, существуют глобальные тренды, носящие межотраслевой и/или наднациональный характер. Одним из таких трендов является использование потенциала высокотехнологичных решений и наукоемких технологий для повышения качества медицинских услуг и обеспечения их персонализации [1]. Применение цифровых технологий в сфере здравоохранения является основой развития медицины и роста рынка медицинских товаров и услуг в XXI веке. Цифровизация сферы здравоохранения является актуальным направлением ее развития, с которым связывают повышение эффективности существующих методов диагностики и лечения и разработку новых медицинских IT-решений, становление персонализированного и предиктивного (прогностического) подходов в медицине. В статье рассмотрены основные направления цифровизации отрасли здравоохранения и возможности ее развития с использованием сквозных технологий.