

Математические модели дифференциальной диагностики форм пиелонефрита для экспертных систем врачей-урологов

Аннотация

Получены модели дифференциальной диагностики серозной и гнойной форм пиелонефрита с выделением переходного класса состояний. Показано, что диагностическая эффективность принимаемых решений превышает значение 0,9.

Введение

Пиелонефрит относится к классу достаточно тяжелых урологических заболеваний, распространенность которых продолжает возрастать. При этом часто наблюдается атипичное течение пиелонефрита. Несмотря на высокоинформативные методы диагностики, применяемые при выявлении пиелонефрита, дифференциальная диагностика серозных и гнойных форм пиелонефрита остается сложной практической проблемой. Многочисленные исследования и опыт практической медицины свидетельствуют о том, что показатели иммунного и оксидантного статуса больных пиелонефритом могут служить информативными тестами для оценки формы пиелонефрита, прогноза течения и эффективности лечения. Однако многочисленность показателей и их неоднозначная трактовка при различных формах пиелонефрита затрудняют оценку показателей и снижают их диагностическую надежность.

Одним из способов повышения эффективности оценки состояния больных, страдающих пиелонефритом, является увеличение качества дифференциальной диагностики форм пиелонефрита с использованием современных математических методов и интеллектуальных технологий, что, в свою очередь, позволяет оптимизировать выбор схем профилактики и лечения.

Материалы и методы исследования

Анализ литературных источников и собственные исследования позволили сделать вывод об отсутствии надежных методов, разделяющих серозные и гнойные формы пиелонефрита, при использовании общепринятых в медицинской практике лабораторных показателей.

При отсутствии надежных формальных моделей классификации форм пиелонефрита в условиях недостаточности экспертных знаний о возможности надежного разделения гнойной и серозной форм пиелонефрита, в соответствии с рекомендациями [1]-[5], в качестве базового математического аппарата была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил с базовым элементом в виде функций принадлежности к исследуемым классам состояний $\mu_i(x_j)$ с базовыми переменными x_j , определяемыми выбранными лабораторными показателями (информативными признаками).

Пространство информативных признаков оптимизировалось с использованием интерактивного пакета «RUMM 2020» [6], [7] и уточнялось в ходе экспертного оценивания в соответствии с рекомендациями работ [4], [5], [8], [9].

Всего было отобрано 13 информативных признаков, сгруппированных в три блока: 1) показатели оксидантного статуса плазмы крови; 2) цитокиновый спектр плазмы крови; 3) функционально-метаболическая активность нейтрофилов периферической крови.

Показатели оксидантного статуса плазмы крови описывались группой признаков x_1, \dots, x_4 :

x_1 – малоновый диальдегид (МДА);

x_2 – ацилгидроперекись (АГП);

x_3 – супероксиддисмутаза (СОА);

x_4 – киталолаза.

Признаки x_5, \dots, x_{11} описывают цитокиновый спектр плазмы крови; x_5 – $\text{INF}\alpha$; x_6 – $\text{IL-1}\alpha$; x_7 – IL-6 ; x_8 – IL-8 ; x_9 – $\text{IFN}\alpha$; x_{10} – IL-10 ; x_{11} – IL-1RA .

Функционально-метаболическая активность нейтрофилов периферической крови описывается двумя признаками: x_{12} – активность и интенсивность фагоцитоза; x_{13} – активность кислотозависимых систем.

В соответствии с общими рекомендациями по синтезу гибридных нечетких решающих правил эксперты, используя метод Дельфи, построили усредненные графики функций принадлежности к классам серозного $\mu_{\text{СП}}(x_i)$ и гнойного $\mu_{\text{ГП}}(x_i)$ пиелонефрита.

Пример графиков функций принадлежности с базовой переменной x_2 представлен на рис. 1.

Анализ полученных графиков функций принадлежности показал, что между классами $\mu_{\text{СП}}$ и $\mu_{\text{ГП}}$ целесообразно выделить класс, определяющий переходную форму пиелонефрита между серозной и гнойной формами, требующий специфических форм лечения (класс $\omega_{\text{ПС}}$), для которого было построено семейство функций принадлежности $\mu_{\text{ПС}}(x_i)$.

Например, для показателей оксидантного показателя статуса крови были получены следующие функции принадлежности:

$$\mu_{\text{СП}}(x_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1 < 0,25; \\ 0,4x_1 - 0,1, & \text{если } 0,25 \leq x_1 < 0,75; \\ -0,058x_1 + 0,24, & \text{если } 0,75 \leq x_1 < 4,2; \\ 0, & \text{если } x_1 \geq 4,2; \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ГП}}(x_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1 < 0,75; \\ 0,082x_1 - 0,06, & \text{если } 0,75 \leq x_1 < 4,4; \\ 0,3, & \text{если } x_1 \geq 4,4; \end{cases}$$

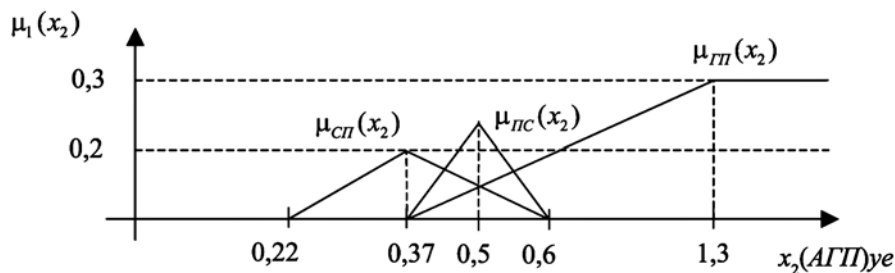


Рис. 1. Пример графиков функций принадлежности $\mu_i(x_2)$: $l = \text{СП, ГП, ПС}$

$$\mu_{СП}(x_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_2 < 0,22; \\ 0,667x_2 - 0,147, & \text{если } 0,22 \leq x_2 < 0,37; \\ -0,435x_2 + 0,261, & \text{если } 0,37 \leq x_2 < 0,6; \\ 0, & \text{если } x_2 \geq 0,6; \end{cases}$$

$$\mu_{ГП}(x_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_2 < 0,37; \\ 0,322x_2 - 0,12, & \text{если } 0,37 \leq x_2 < 1,3; \\ 0,3, & \text{если } x_2 \geq 1,3; \end{cases}$$

$$\mu_{СП}(x_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_3 < 16,1; \\ 0,667x_3 - 10,73, & \text{если } 16,1 \leq x_3 < 16,4; \\ -0,167x_3 + 2,93, & \text{если } 16,4 \leq x_3 < 17,6; \\ 0, & \text{если } x_3 \geq 17,6; \end{cases}$$

$$\mu_{ГП}(x_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_3 < 16,6; \\ 0,4x_3 - 6,64, & \text{если } 16,6 \leq x_3 < 17,6; \\ 0,4, & \text{если } x_3 \geq 17,6; \end{cases}$$

$$\mu_{СП}(x_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_4 < 11,4; \\ 0,065x_4 - 0,74, & \text{если } 11,4 \leq x_4 < 16; \\ -0,15x_4 + 2,7, & \text{если } 16 \leq x_4 < 18; \\ 0, & \text{если } x_4 \geq 18; \end{cases}$$

$$\mu_{ГП}(x_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_4 < 16,5; \\ 0,2x_4 - 3,3, & \text{если } 16,5 \leq x_4 < 18; \\ 0,3, & \text{если } x_4 \geq 18. \end{cases}$$

Анализ функций принадлежности показал, что использование каждой из них увеличивает уверенность в исследуемых классах состояний. В этих условиях согласно рекомендациям [4], [8]-[13] соответствующие функции принадлежности целесообразно агрегировать с использованием модифицированных формул Е. Шортлифа:

$$US(i+1) = US(i) + \mu_{СП}(X_{i+1})[1 - US(i)]; \quad (1)$$

$$UG(i+1) = UG(i) + \mu_{ГП}(X_{i+1})[1 - UG(i)]; \quad (2)$$

$$UP(i+1) = UP(i) + \mu_{ПС}(X_{i+1})[1 - UP(i)]; \quad (3)$$

где $US(i)$, $UG(i)$, $UP(i)$ – уверенность в наличии серозной, гнойной или переходной формы пиелонефрита при использовании всех признаков до номера i включительно;

$$US(1) = \mu_{СП}(X_1); \quad UG(1) = \mu_{ГП}(X_1); \quad UP(1) = \mu_{ПС}(X_1).$$

Решение о классификации Ω_l принимается по максимальной величине уверенностей в принимаемых решениях и при превышении выбираемым показателем заданного экспертами порога $P = 0,6$:

$$\Omega_l = \max(US, UG, UP), \quad (4)$$

где $l = СП, ГП, ПС$.

При равенстве показателей US , UG или UP решение принимается в следующей последовательности: US , UG , UP .

Результаты

В ходе экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что уверенность в дифференциальной диагностике выбранных форм пиелонефрита превышает значение 0,9.

Для подтверждения полученной точности классификации была сформирована контрольная выборка по 100 человек на каждый класс с подтвержденными результатами обследований.

На контрольной выборке рассчитывались такие показатели, как диагностическая специфичность (ДС), диагностическая чувствительность (ДЧ) и диагностическая эффективность (табл. 1).

Таблица 1

Качество классификации решающих правил

Класс \ ПК	ДЧ	ДС	ДЭ
US(1)	0,93	0,94	0,93
UG(2)	0,91	0,92	0,91
UP(3)	0,89	0,90	0,90

Примечание – ПК – показатель качества работы решающих правил (1), (2) и (3).

Анализ табл. 1 показывает, что все показатели эффективности превышают значение 0,9 при дифференциальной диагностике серозного и гнойного пиелонефрита. При выделении переходного класса диагностическая чувствительность составляет не ниже 0,89, остальные показатели – не ниже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные математические модели для использования в медицинской практике.

Заключение

Предложенные в работе нечеткие математические модели позволяют с уверенностью не ниже 0,9 выделять три формы острого пиелонефрита: серозную, гнойную и переходную. В ходе статистических испытаний на репрезентативных контрольных выборках было показано, что по показателям диагностической специфичности, чувствительности и эффективности (не ниже 0,9) полученные решающие правила обеспечивают приемлемое для практической медицины качество принимаемых решений.

Предлагаемые математические модели могут быть либо реализованы на планшетах и смартфонах врачей-урологов, либо являться составной частью мощных экспертных систем.

Список литературы:

1. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
2. Корневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 25-31.
3. Корневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99-103.
4. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
5. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
6. Бойцов А.В., Лазурина Л.П., Корневская С.Н., Шуткин А.Н. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. № 6. Т. 57. С. 52-58.

7. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Дмитриева В.В. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
8. Серегин С.П., Долженков С.Д., Коцарь А.Г. Современные информационные технологии в урологии. Монография. – Курск: Курский гос. техн. ун-т; Курское регион. отд-ние Междунар. акад. экологии и безопасности человека и природы, 2009. 364 с.
9. Шуткин А.Н., Федянин В.В., Корневская С.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил / Материалы международной научно-практической конференции «Информационные проекты в медицине и педагогике». 2014. С. 61-64.
10. Холименко И.М., Конопля А.И., Братчиков О.И., Быстрова Н.А., Маврин М.Ю., Шатохин М.Н. Оксидантный стресс при остром серозном и гнойном пиелонефрите // Нефрология. 2017. № 21. Т. 1. С. 87-94.
11. Чернега М.С., Долженков С.Д., Петров С.В., Харьков С.В., Чулкинова Л.Ю. Прогнозирование послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях на основе комбинированных нечетких правил // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. № 2. Т. 3. С. 63-69.
12. Шатохин М.Н., Холименко И.М., Конопля А.И., Братчиков О.И., Гаврилюк В.П., Краснов А.В., Маврин М.Ю. Математическая оценка диагностической информативности лабораторных показателей при серозном и гнойном пиелонефрите // Экспериментальная и клиническая урология. 2016. № 4. С. 104-110.
13. Серегин С.П., Долженков С.Д., Корневская С.Н., Сапотонова Т.Н. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2. Т. 3. С. 293-297.

Николай Алексеевич Корневский,
 д-р техн. наук, профессор,
 зав. кафедрой биомедицинской инженерии,
 ФГБОУ ВО «Юго-Западный
 государственный университет»,
 Геннадий Вячеславович Сипливый,
 д-р мед. наук, профессор,
 кафедра урологии,
 Курский государственный
 медицинский университет,
 Дмитрий Сергеевич Родионов,
 аспирант,
 кафедра биомедицинской инженерии,
 Татьяна Николаевна Говорухина,
 канд. техн. наук, доцент,
 кафедра программной инженерии,
 ФГБОУ ВО «Юго-Западный
 государственный университет»,
 г. Курск,
 Валентина Викторовна Дмитриева,
 канд. техн. наук, доцент,
 кафедра электрофизических установок,
 НИЯУ «МИФИ»,
 г. Москва,
 e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Н.А. Гейдаров, К.Ю. Клышников, Е.А. Овчаренко

Использование нейронных сетей в системах визуального ассистирования имплантации транскатетерного протеза клапана аорты

Аннотация

Анализируется современное состояние подходов к анализу медицинских данных, получаемых в результате ангиографического исследования в рамках различных вмешательств на сосудистом русле человека. Рассмотрены основные подходы: image-based алгоритмы, алгоритмы машинного обучения и глубокое обучение нейросетей, как с позиции отдельных научных исследований, так и с прикладной точки зрения – с позиции создания систем визуального ассистирования медицинских процедур. Кроме того, представлен собственный взгляд авторов на перспективы и потенциальные решения трудностей при создании подобных комплексов для сердечно-сосудистой хирургии, в частности процедуры транскатетерного протезирования клапана аорты.

Введение

Транскатетерное протезирование клапанов сердца, в частности клапана аорты, получает все большее распространение на территории РФ, а в зарубежных клиниках переходит в рутинную практику для лечения аортального стеноза у пациентов высокого риска. Подобная динамика обусловлена совершенствованием конструкций (протезов клапана и систем доставки), коррекцией протокола предоперационного планирования, совершенствованием навыков хирургов и heart team [1]. Суть процедуры транскатетерного протезирования заключается в замене пораженного клапана сердца путем имплантации стентоподобного протеза с доставкой его через сосудистую систему пациента: бедренную, подключичную артерии, верхушку сердца и т. д. Учитывая ограниченность визуального доступа хирурга к месту имплантации, возникает необходимость визуализации и трекинга основных анатомических маркеров для обеспечения корректной имплантации протеза

[2]. Основным методом контроля всей процедуры является интраоперационная ангиография с контрастом, физической основой которой является принцип рентгенографии, а реализацией – установка С-дуги, которая представляет собой сканер компьютерной томографии [3]. Технической особенностью данной процедуры является, с одной стороны, необходимость определения точного расположения клапана с помощью томографии, с другой – минимизация данного воздействия, т. е. лучевой нагрузки на пациента и персонал. Показано, что точность имплантации протеза клапана влияет на риски возникновения интра- и послеоперационных осложнений: возникновение блокад сердца (10...30 %), утечка крови в обход установленного протеза (4...35 %), перекрытие коронарных артерий (0,5...1 %) [4]. Кроме того, использование в ходе процедуры контрастирующего вещества для визуализации корня аорты, клапана, устьев и состояний коронарных артерий оказывает существенную нагрузку на выводящую систему пациента и должно быть минимизировано, чтобы избежать почечной не-