



УДК 616.613-003.7

## СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТОЛИЗА УРАТНЫХ КАМНЕЙ ПОЧЕК

**А.Г. КОЦАРЬ<sup>1,2</sup>**  
**С.П. СЕРЕГИН<sup>1,2</sup>**  
**А.В. НОВИКОВ<sup>2</sup>**  
**Л.В. ШУЛЬГА<sup>1</sup>**  
**А.П. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>**

<sup>1)</sup> Юго-Западный  
государственный  
университет, г. Курск

<sup>2)</sup> Курская городская  
клиническая больница  
скорой медицинской помощи

e-mail: litoklast@mail.ru

В работе описывается метод прогнозирования эффективности литолитической терапии при мочекаменной болезни с использованием аппарата нечеткой логики принятия решений. Сформирован словарь информативных признаков и алфавит классов. Разработаны формулы расчета функций принадлежности по данным признакам, по значениям которых с помощью итерационного правила логического вывода рассчитываются коэффициенты уверенности в принадлежности обследуемого объекта к искомому классу. На основании сравнения полученных значений с пороговыми коэффициентами уверенности производится дефазификация вывода. Для проверки эффективности «срабатывания» синтезированных решающих правил были рассчитаны коэффициенты уверенности для пациентов с известными исходами лечения уролитиаза и построены гистограммы распределения значений коэффициентов. Анализ пересечения гистограмм свидетельствует о высокой диагностической эффективности (0,99) синтезированных решающих правил.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь, литолиз, прогнозирование, нечеткая логика.

**Введение.** Уратный уролитиаз составляет от 2,3 до 44% всех случаев мочекаменной болезни и чаще встречаются в возрастной группе 56-65 лет [3, 7], когда риски оперативного и анестезиологического пособия значительно возрастают. За последние три десятилетия достигнуты значительные успехи в методах удаления и дезинтеграции конкрементов за счет применения малоинвазивных и эндоскопических методов. К сожалению, результаты лечения с использованием даже этих современных методов не всегда удовлетворяют врачей своими результатами, что обусловлено как возникновением осложнений, так и высокой частотой рецидивов камнеобразования [6]. В то же время методы перорального литолиза мочекаменных камней так называемыми цитратными препаратами получили научное развитие и нашли широкое клиническое применение во всем мире [4]. Пероральный литолиз дает возможность неинвазивного избавления от конкрементов у данной группы пациентов [2]. При этом важно правильно оценить показания и предполагаемую эффективность лечения, так как необоснованное назначение цитратных смесей может приводить к прогрессии фосфатного литогенеза, неэффективности терапии, финансовым издержкам пациента.

**Цель исследования.** Разработка методов и средств прогнозирования эффективности литолитической терапии (ЛЛТ) при мочекаменной болезни, управляемых автоматизированной системой поддержки принятия решений врача-уролога, обеспечивающей высокое качество оказания медицинских услуг в условиях неопределенности и неполноты представления данных при пересекающихся структурах классов.

**Материал и методы исследования.** Учитывая многообразие, неполноту и нечеткость признаков, пересекающиеся структуры классов в качестве основного математического аппарата выбрана нечеткая логика принятия решений с расчетом коэффициентов уверенности в принадлежности к искомым классам [1, 5].

Согласно общей концепции синтеза нечетких решающих правил, задача нечеткого прогнозирования эффективности ЛЛТ рассматривается как задача разделения обследуемых на два класса:  $\omega_{\text{ЛЛТ}+}$  – показана литолитическая терапия,  $\omega_{\text{ЛЛТ}-}$  – противопоказана литолитическая терапия.

Определен рабочий словарь признаков:

$x_1$  – локализация камня:

1 – чашечно-лоханочная система,

2 – мочеточник;

$x_2$  – плотность камня по результатам спиральной компьютерной томографии (хаунсфилд);



$x_3$  – рентгенинтенсивность камня по результатам урографии:

1 – неконтрастный,

2 – слабоконтрастный,

3 – контрастный;

$x_4$  – химическая структура камня (в анамнезе):

1 – урат,

2 – не урат;

$x_5$  – толщина паренхимы почки (мм);

$x_6$  – уровень мочевой кислоты крови (мкмоль/л);

$x_7$  – уровень рН мочи;

$x_8$  – беременность:

0 – нет,

1 – есть;

$x_9$  – острый пиелонефрит, хронический пиелонефрит в фазе активного воспаления:

ния:

0 – нет,

1 – есть.

Для каждого признака группой высококвалифицированных экспертов определены значения функций принадлежности  $\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_i)$  и  $\mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_i)$  ( $i=1, \dots, 9$ ) к вышеуказанным классам:

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_1) = \begin{cases} 0,25, & \text{если } x_1 = 1, \\ 0, & \text{если } x_1 = 2. \end{cases} \quad \mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_1) = 0.$$

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_2) = \begin{cases} 0,2, & \text{если } x_2 \leq 500, \\ 0,7 - 0,001x_2, & \text{если } 500 < x_2 \leq 700, \\ 0, & \text{если } x_2 > 700. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_2 \leq 600, \\ 0,002x_2 - 1,2, & \text{если } 600 < x_2 \leq 1000, \\ 0,8 & \text{если } x_2 > 1000. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_3) = \begin{cases} 0,5, & \text{если } x_3 = 1, \\ 0, & \text{если } x_3 \geq 2. \end{cases} \quad \mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_3 = 1, \\ 0,4, & \text{если } x_3 = 2, \\ 0,9 & \text{если } x_3 \geq 3. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_4) = \begin{cases} 0,2, & \text{если } x_4 = 1, \\ 0, & \text{если } x_4 = 2. \end{cases} \quad \mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_4 = 1, \\ 0,3, & \text{если } x_4 = 2. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_5) = 0, \quad \mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_5) = \begin{cases} 0,8, & \text{если } x_5 \leq 6, \\ 2 - 0,2x_5, & \text{если } 6 < x_5 \leq 10, \\ 0, & \text{если } x_5 > 10. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ОЛЛТ}^+}(x_6) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_6 \leq 400, \\ 0,0015x_6 - 0,6, & \text{если } 400 < x_6 \leq 600, \\ 0,3 & \text{если } x_6 > 600. \end{cases} \quad \mu_{\text{ОЛЛТ}^-}(x_6) = 0.$$



$$\mu_{\omega_{\text{ЛЛТ}^+}}(x_7) = \begin{cases} 0,2, & \text{если } x_7 \leq 5,5, \\ 1,3 - 0,2x_7, & \text{если } 5,5 < x_7 \leq 6,5, \\ 0, & \text{если } x_7 > 6,5. \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{\text{ЛЛТ}^-}}(x_7) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_7 \leq 6,5, \\ 0,6x_7 - 3,9, & \text{если } 6,5 < x_7 \leq 7,5, \\ 0,6, & \text{если } x_7 > 7,5. \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{\text{ЛЛТ}^+}}(x_8) = 0. \quad \mu_{\omega_{\text{ЛЛТ}^-}}(x_8) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_8 = 0, \\ 0,9, & \text{если } x_8 = 1. \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{\text{ЛЛТ}^+}}(x_9) = 0. \quad \mu_{\omega_{\text{ЛЛТ}^-}}(x_9) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_9 = 0, \\ 0,9, & \text{если } x_9 = 1. \end{cases}$$

Общий коэффициент уверенности в отнесении обследуемого к классам  $\omega_{\text{ЛЛТ}^+}$  ( $KU_{\text{ЛЛТ}^+}$ ),  $\omega_{\text{ЛЛТ}^-}$  ( $KU_{\text{ЛЛТ}^-}$ ) рассчитывается с помощью итерационного правила логического вывода вида:

$$KU(r+1) = KU(r) + \mu_{\omega}(x_{i+1})[1 - KU(r)],$$

где  $KU(r)$  – коэффициент уверенности в классе  $\omega$  на  $r$ -ом шаге итерации; причем  $KU(r) = \mu_{\omega}(x_i)$ ;  $\mu_{\omega}(x_{i+1})$  – функция принадлежности для вновь вводимого признака с номером  $i+1$ ,  $i=1, \dots, 9$ .

На основании сравнения полученных коэффициентов уверенности с пороговыми значениями  $KU_{\text{ЛЛТ}^+}^{\text{II}} = 0,6$ ,  $KU_{\text{ЛЛТ}^-}^{\text{II}} = 0,6$  производится дефазификация вывода. Окончательный вывод определяется выражениями:

ЕСЛИ ( $KU_{\text{ЛЛТ}^+} \geq 0,6$ ) И ( $KU_{\text{ЛЛТ}^-} < 0,6$ ), ТО [«целесообразно выполнение литолитической терапии»] ИНАЧЕ [«нецелесообразно выполнение литолитической терапии»].

**Результаты.** Для проверки эффективности «срабатывания» синтезированных решающих правил были рассчитаны  $KU_{\text{ЛЛТ}^+}$  и  $KU_{\text{ЛЛТ}^-}$  для больных с известными исходами лечения мочекаменной болезни (МКБ). Из пациентов с  $KU_{\text{ЛЛТ}^-} < 0,6$  сформированы 2 группы: 1 группа – больные уратным нефролитиазом, у которых литолитическая терапия была эффективна (50 больных), 2 группа – больные с уролитиазом, которым выполнена ДЛТ или открытая операция (100 больных), и построены гистограммы распределения больных (в %) по значению  $KU_{\text{ЛЛТ}^+}$  (рис.).

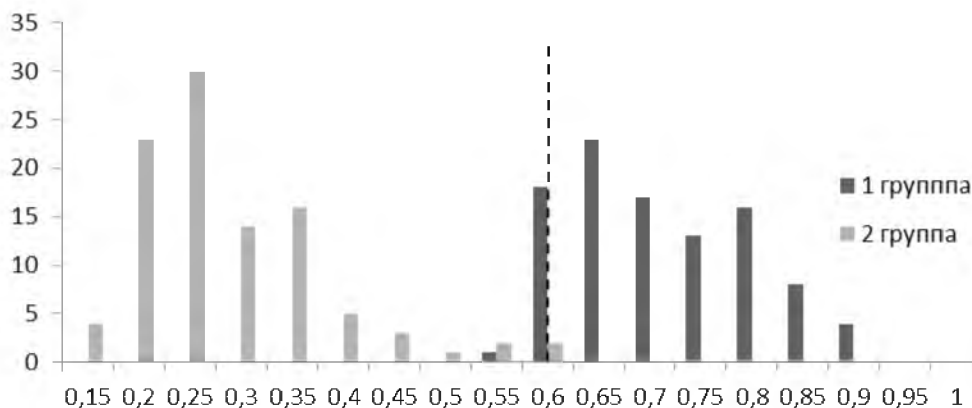


Рис. Гистограммы распределения групп больных по значению  $KU_{\text{ЛЛТ}^+}$



По результатам анализа гистограмм определено пороговое значение коэффициента уверенности, характеризующее указанные области:  $KU_{ЛЛТ+}^П = 0,6$ , рассчитаны показатели качества работы решающих правил (табл. 1).

На основании анализа пересечения гистограмм распределения классов по  $KU_{ЛЛТ+}$  относительно пороговых значений  $KU_{ЛЛТ+}^{П2}$ , обеспечивающих минимальные значения ошибочных решений, рассчитаны показатели качества работы решающих правил (табл.).

Таблица

**Сводная таблица показателей качества прогнозирования эффективности ЛЛТ при МКБ**

Диагностическая чувствительность	Диагностическая специфичность	Прогностическая значимость положительных результатов	Прогностическая значимость отрицательных результатов	Диагностическая эффективность
0,99	0,98	0,98	0,99	0,99

Анализ полученных данных показывает хорошее совпадение результатов экспертного оценивания и проверки качества работы, синтезированных решающих правил на контрольной выборке.

**Выводы.** Синтезированная система нечетких решающих правил при приемлемых временных и технико-экономических затратах позволяет точно определять показания, противопоказания и предполагаемую эффективность предстоящей литолитической терапии.

### Литература

1. Автоматизированная система поддержки принятия решений врача-уролога по прогнозированию и профилактике мочекаменной болезни / А.Г. Коцарь [и др.] – Курск : Курск. гос. с.-х. акад., 2011. – 86 с.
2. Аляев, Ю.Г. Современные аспекты цитратной терапии у больных мочекаменной болезнью / Ю.Г. Аляев, Г.М. Кузьмичева, Л.М. Рапопорт // Врачебное сословие. – 2004. – № 4. – С. 20-24.
3. Дзеранов, Н.К. Лечение мочекаменной болезни: реалии сегодняшнего дня / Н.К. Дзеранов // Здоров'я України. – 2006. – № 4. – С. 38-39.
4. Колпаков, И.С. Консервативное лечение мочекаменной болезни / И.С. Колпаков. – М. : Мед. информ. агентство, 2009. – 222 с.
5. Корневский, Н.А. Проектирование систем поддержки принятия решений для медико-экологических приложений : монография / Н.А. Корневский, В.С. Титов, И.А. Чернецкая ; Курск. гос.техн. ун-т. – Курск, 2004. – 180 с.
6. Мочекаменная болезнь. Современные методы диагностики и лечения / под ред. чл.-кор. РАМН Ю.Г. Аляева. – М. : Гэотар-Медиа, 2010. – 216 с.
7. Султанова, Е.А. Консервативное лечение мочекаменной болезни / Е.А. Султанова, Е.В. Шпоть // Русский медицинский журнал. – 2010. – N 29. – С. 180б.

## SYNTHESIS OF FUZZY DECISION RULES FOR PREDICTING EFFECTIVENESS OF LITHOLYSIS URIC ACID KIDNEY STONES

**A.G. KOTSAR<sup>1,2</sup>**  
**S.P. SEREGIN<sup>1,2</sup>**  
**A.B. NOVIKOV<sup>2</sup>**  
**L.V. SHULGA<sup>1</sup>**  
**A.P. YAKOVLEV<sup>1</sup>**

<sup>1)</sup> Southwest State University, Kursk

<sup>2)</sup> Kursk city clinical emergency hospital

e-mail: litoklast@mail.ru

The article describes a method of fuzzy logic for decision making predicting the effectiveness of litholysis therapy in treating of urolithiasis. Formed dictionary informative features and alphabet of classes. developed the formula for calculating the membership functions according to the features, and using an iterative rule, calculate the coefficient of confidence in the examined object belonging to the desired class. By comparing the values obtained with the threshold values of the coefficients of confidence is defuzzification conclusion. To test the effectiveness of the operation synthesized decision rules were calculated ratios of confidence to patients with known outcomes of therapy, and a histogram distribution of patients according to the value the coefficients of confidence. Analyze the intersection histogram shows a good agreement between the results of expert evaluation s and synthesized decision rule in the control group: diagnostic efficiency is 0.99.

Key words: urolithiasis, litholysis, forecasting, fuzzy logic