

УДК 616-08-035

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ЛИТОТРИПСИИ ПРИ УРОЛИТИАЗЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

**Коцарь А.Г., Цуканова М.Н.**

*ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: litoklast@mail.ru*

В работе описывается метод прогнозирования эффективности дистанционной ударно-волновой литотрипсии 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 (0,9) синтезированных решающих правил.

**Ключевые слова:** мочекаменная болезнь, дистанционная литотрипсия, прогнозирование, нечеткая логика

## FORECASTING EFFICACY OF EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE LITHOTRIPSY IN TREATING OF UROLITHIASIS WITH USING FUZZY LOGIC

**Kotsar A.G., Tsukanova M.N.**

*Southwest State University, Kursk, e-mail: litoklast@mail.ru*

The article describes a method of fuzzy logic for decision making predicting the effectiveness of extracorporeal shock wave lithotripsy 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 and synthesized decision rule in the control group: the diagnostic sensitivity – 0,9, the diagnostic specificity – 0,93, the positive predictive value – 0,9, the negative predictive value – 0,9 and diagnostic efficiency is 0,92.

**Keywords:** urolithiasis, shock wave lithotripsy, forecasting, fuzzy logic

Мочекаменная болезнь (МКБ) – социально значимое заболевание, затрагивающее значительную часть населения земного шара. Данные о заболеваемости МКБ разнятся, что связано как с истинными причинами, связанными с климато-геологическими, экологическими, социально-экономическими, этническими отличиями регионов [4], так и с разницей в предоставлении информации, недостаточной стандартизацией диагноза, отсутствием скрининга МКБ и, как следствие, неполной выявляемостью. Так, в Европе уролитиазом страдает в среднем 5–9% населения, 1–5% в Азии, 13% в Северной Америке и до 20% в Саудовской Аравии [7, 8], в то время как в России этот показатель в 2009 г. составлял 0,52% [1]. У 68% пациентов МКБ диагностируется в трудоспособном возрасте (20–60 лет) [3], преимущественно у мужчин, в соотношении 2/3 мужчин к 1/3 женщин [2]. Несмотря на значительный научно-технический прогресс и появление богатого ассортимента экстракорпоральных и малоинвазивных эндоскопических и диалитических методов дезинтеграции и эли-

минации конкрементов, заболеваемость мочекаменной болезнью не только не снижается, но имеет явную тенденцию к росту [1, 5]. При всем многообразии методов выбор оптимальной стратегии лечения для конкретного пациента является нелегкой задачей, требующей творческого подхода и учета множества признаков. Как показали наши исследования, врачу-урологу придется учитывать до 40 факторов, которые могут повлиять на выбор одного из как минимум 25 возможных вариантов лечения конкретного пациента с мочекаменной болезнью.

Высокоэффективным и наименее инвазивным методом лечения МКБ является дистанционная ударно-волновая литотрипсия (ДУВЛ), позволяющая достичь положительного результата в более чем 90% случаев [9, 3]. Однако возможности метода ограничены техническими характеристиками аппарата; невозможностью адекватной фокусировки на камень; химической структурой камня; анатомо-физиологическими особенностями мочевых путей, исключающих возможность самостоятельного от-

хождения фрагментов дезинтегрированного конкремента; наличием противопоказаний. В данной ситуации необоснованное применение ДУВЛ приводит к затягиванию лечебного процесса, бессмысленной травматизации тканей почки или мочеточника, усугублению или усложнению исходной ситуации, в то время как альтернативные эндоскопические методики при средней инвазивности и соответственно большем риске осложнений, но с эффективностью до 98% могут обеспечить избавление пациента от конкремента [6].

**Цель исследования** – разработка методов и средств прогнозирования эффективности дистанционной литотрипсии 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 и нечеткую природу признаков, определяющих отнесение объекта (пациента) к одному из классов (возможных лечебных групп), возможность одновременного присутствия объекта со сходными значениями одного и того же признака в различных классах, четкая логика неприменима для однозначного вывода в принятии решений по лечебной тактике. Поэтому в качестве основного математического аппарата выбрана нечеткая логика принятия решений с расчетом коэффициентов уверенности в принадлежности к искомым классам.

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

Проводится обследование пациента согласно стандартам оказания медицинской помощи больным мочекаменной болезнью, утвержденным Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации. По результатам обследования информативным признакам присваиваются цифровые значения:  $x_1$  – локализация камня: 1 – локализация неизвестна, 2 – верхняя чашка, 3 – средняя чашка, 4 – нижняя чашка, 5 – лоханка, 6 – лоханочно-мочеточниковый сегмент, 7 – верхняя треть, 8 – средняя треть, 9 – нижняя треть на уровне костного тазового кольца, 10 – нижняя треть вне тазового кольца, 11 – предпузырный, интрамуральный отдел мочеточника,  $x_2$  – возможность и способ визуализации камня: 1 – не визуализируется, 2 – лоцируется при УЗИ, 3 – рентгеноконтрастный, 4 – рентгегенативный, визуализация «по концу контраста»,  $x_3$  – размер камня, мм,  $x_4$  – форма камня: 1 – гладкий, овальный или округлый, 2 – неправильной формы, шиповатый,  $x_5$  – плотность камня по результатам СКТ (хаунсфилд),  $x_6$  – рентгенинтенсивность камня по результатам урографии: 1 – не контрастный, 2 – слабоконтрастный, 3 – контрастный, 4 – интенсивно контрастный,  $x_7$  – четкость контуров: 1 – нечеткие, размытые, 2 – четкие, ровные,  $x_8$  – нали-

чие просветлений,  $x_9$  – химическая структура камня (в анамнезе): 1 – моногидратный оксалат, 2 – неизвестно, 3 – фосфат, 4 – дигидратный оксалат, 5 – урат, 6 – смешанный,  $x_{10}$  – длительность стояния конкремента в мочеточнике, сут.,  $x_{11}$  – толщина паренхимы почки, см,  $x_{12}$  – сократительная способность мочеточника по данным экскреторной урографии: 1 – мочеточник не расширен/расширен до 10 мм, 2 – мочеточник расширен 10–15 мм, 3 – мочеточник расширен более 15 мм, извитой,  $x_{13}$  – стриктура нижележащего отдела мочеточника, рубцовый периуретерит: 1 – сужение просвета мочеточника на экскреторных урограммах без выраженного супрастенотического расширения, 2 – протяженное до 1 см сужение с диаметром мочеточника 1–2 мм с супрастенотическим расширением, 3 – протяженное более 1 см сужение с диаметром мочеточника 1–2 мм с супрастенотическим расширением, 4 – протяженное более 1 см сужение с диаметром мочеточника менее 1 мм с супрастенотическим расширением, 5 – протяженное менее 1 см сужение с диаметром менее 1 мм с супрастенотическим расширением,  $x_{14}$  – фиксированный S-образный перегиб мочеточника ниже камня, в градусах,  $x_{15}$  – S-образный перегиб мочеточника ниже камня: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{16}$  – нижележащий камень мочеточника (множественная обструкция): 0 – нет, 1 – есть,  $x_{17}$  – уретероцеле: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{18}$  – аденома простаты с субтригональным ростом с девиацией нижних отделов мочеточников: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{19}$  – цистоцеле: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{20}$  – компрессия мочеточника извне фибромиомой матки, объемными образованиями: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{21}$  – злокачественная опухоль почки: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{22}$  – ангиомиолипома почки: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{23}$  – злокачественная опухоль различных органов и тканей в проекции камня: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{24}$  – степень развития подкожно-жировой клетчатки: 1 – обычного питания или ожирение 1 ст., 2 – ожирение 2 ст., 3 – ожирение 3 ст., 4 – ожирение 4 ст.,  $x_{25}$  – наличие дренажа: 1 – катетер, 2 – ЧПНС, 3 – стент,  $x_{26}$  – наличие аортальных и/или почечных аневризм: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{27}$  – нарушения свертывающей системы крови: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{28}$  – беременность: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{29}$  – общесоматический статус больного, степень анестезиологического риска ASA: 1 – ASA1, 2 – ASA2, 3 – ASA3, 4 – ASA4, 5 – ASA5,  $x_{30}$  – серозный пиелонефрит: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{31}$  – гнойный пиелонефрит: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{32}$  – некупирующийся болевой синдром: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{33}$  – часто рецидивирующая почечная колика, необходимость вводить инъекционные анальгетики более 4 раз в сутки: 0 – нет, 1 – есть,  $x_{34}$  – отсутствие эффекта от камнеизгоняющей терапии в течение 2 недель: 0 – нет, 1 – есть.

Для каждого признака рассчитывается значение функций принадлежности  $\mu_{\omega}(x_i)$  ( $i = 1, \dots, 34$ ) к классам  $w_{\text{длт}+}$ ,  $w_{\text{длт}-}$  на основании формул, синтезированных группой высококвалифицированных экспертов – специалистов в области урологии, под руководством инженера по знаниям.

Рассчитывается общий коэффициент уверенности в отнесении обследуемого к классам  $w_{\text{длт}+}$  ( $KY_{\text{длт}+}$ ),  $w_{\text{длт}-}$  ( $KY_{\text{длт}-}$ ) с помощью итерационного правила логического вывода вида:

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

где  $KY(r)$  – коэффициент уверенности в классе  $\omega$  на  $r$ -м шаге итерации; причем  $KY(r) = \mu_{\omega}(x_i)$ ;  $\mu_{\omega}(x_{i+1})$  –

функция принадлежности для вновь вводимого признака с номером  $i+1, i = 1, \dots, 34$ ,

На основании сравнения полученного коэффициента уверенности с пороговыми значениями  $KU_{длт+}^{п1} = 0,5, KU_{длт+}^{п2} = 0,6, KU_{длт-}^{п1} = 0,5$  формируется четкий вывод:

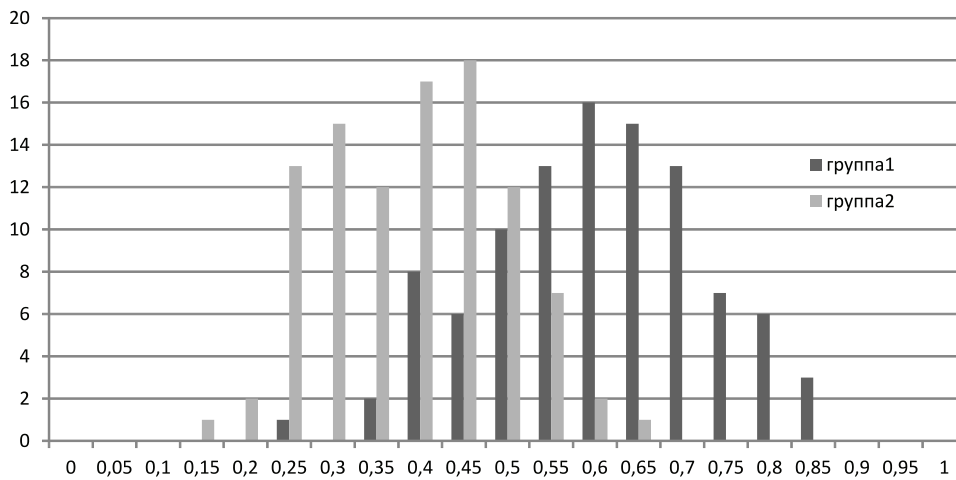
ЕСЛИ  $(KU_{длт+}^{п1} \geq KU_{длт+}^{п2})$  и  $KU_{длт-} < KU_{длт-}^{п1}$ , ТО [«целесообразно выполнение ДУВЛ ввиду предполагаемой высокой эффективности»],

ЕСЛИ  $(KU_{длт+}^{п1} \leq KU_{длт+} < KU_{длт+}^{п2})$  и  $KU_{длт-} < KU_{длт-}^{п1}$ , ТО [«возможно выполнение ДУВЛ, однако предполагаемая эффективность умеренная»],

ИНАЧЕ [«нецелесообразно выполнение ДУВЛ ввиду предполагаемой низкой эффективности или наличия противопоказаний»].

### Результаты исследования и их обсуждение

Для проверки эффективности «срабатывания» синтезированных решающих правил были рассчитаны  $KU_{длт+}$  и  $KU_{длт-}$  для пациентов с известными исходами лечения МКБ. Из пациентов с  $KU_{длт-} < 0,5$  сформированы 2 группы: 1 группа – больные уретеролитиазом у которых ДЛТ была эффективна (300 больных), 2 группа – больные уретеролитиазом, которым выполнена контактная литотрипсия или открытая операция (100 больных), и построены гистограммы распределения больных (в %) по значению  $KU_{длт+}$  (рисунок).



Гистограммы распределения групп больных по значению  $KU_{длт+}$

На основании анализа пересечения гистограмм распределения классов по  $KU_{длт+}$  относительно пороговых значений  $KU_{длт+}^{п2}$ ,

обеспечивающих минимальные значения ошибочных решений, рассчитаны показатели качества работы решающих правил (таблица).

Сводная таблица показателей качества прогнозирования эффективности ДУВЛ при МКБ

Диагностическая чувствительность	Диагностическая специфичность	Прогностическая значимость положительных результатов	Прогностическая значимость отрицательных результатов	Диагностическая эффективность
0,9	0,93	0,93	0,9	0,92

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

#### Выводы

Синтезированная система нечетких решающих правил для прогнозирования эф-

фективности дистанционной литотрипсии при МКБ обеспечивает при приемлемых временных и технико-экономических затратах уверенность в принимаемых решениях на уровне 0,9 и выше в зависимости от количества и качества регистрируемой информации и позволяет научно обоснованно решать задачи рационализации выбора метода лечения уролитиаза.

## Список литературы

1. Аполихин О.И., Сивков А.В., Солнцева Т.В. Эпидемиология мочекаменной болезни в различных регионах Российской Федерации // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2011. – Т. 1, № 3. – С. 167–176.
2. Вошула В.И. Мочекаменная болезнь: этиотропное и патогенетическое лечение, профилактика. – Минск: ВЭ-ВЭР, 2006. – 268 с.
3. Дзеранов Н.К. Лечение мочекаменной болезни: комплексная медицинская проблема // Лечащий врач. – 2002. – № 11 – С. 4–9.
4. Тиктинский О.Л., Александров В.П. Мочекаменная болезнь. – СПб.: Питер, 2000. – 379 с.
5. Knoll T. Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis // Eur Urol Suppl. – 2010. – Vol. 9. – P. 802–806.
6. Leijte J.A., Oddens J.R., Lock T.M. Holmium laser lithotripsy for ureteral calculi: predictive factors for complications and success // J Endourol. – 2008. – Vol. 22, N 2. – P. 257–260.
7. Ramello A., Vitale C., Marangella D. Epidemiology of nephrolithiasis // J. Nephrol. – 2000. – Vol. 13. – Suppl. 3. – P. 45–50.
8. Tiselius H.-G. Epidemiology and medical management of stone disease // BJU international. – 2000. – № 91. – P. 758–767.
9. Wen C.C., Nakada S.Y. Treatment selection and outcomes: renal calculi // Urol Clin North Am. – 2007 Aug. – № 34. – P. 409–419.

## References

1. Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Solntseva T.V. *Byulleten meditsinskikh Internet – konferentsiy*, 2011, Volume 1, no. 3, pp. 167–176.
2. Voshchula V.I. *Mochekamennaya bolezni: etiotropnoye i patogeneticheskoye lecheniye, profilaktika* [Urolithiasis: etio-

tropic and pathogenetic treatment, prevention]. Mn.: VEVER, 2006. 268 p.

3. Dzeranov N.K. *Lechashchiy vrach*, 2002, no. 11, pp. 4–9.
4. Tiktinskiy O.L., Aleksandrov V.P. *Mochekamennaya bolezni* [Urolithiasis]. S-Pb.: «Piter», 2000. 379 p.
5. Knoll T. Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis // Eur Urol Suppl. 2010. Vol. 9. pp. 802–806.
6. Leijte J.A., Oddens J.R., Lock T.M. Holmium laser lithotripsy for ureteral calculi: predictive factors for complications and success // J Endourol. 2008. Vol. 22, no. 2. pp. 257 – 260.
7. Ramello A., Vitale C., Marangella D. Epidemiology of nephrolithiasis // J. Nephrol. 2000. Vol. 13. Suppl. 3. pp. 45–50.]
8. Tiselius H.-G. Epidemiology and medical management of stone disease // BJU international. 2000. no. 91. pp. 758–767.]
9. Wen CC, Nakada SY. Treatment selection and outcomes: renal calculi // Urol Clin North Am. 2007 Aug. no. 34. pp. 409–419.

## Рецензенты:

Бежин А.И., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет», г. Курск;

Новиков А.В., д.м.н., ассистент кафедры урологии ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет», врач-уролог 2 урологического отделения ОБУЗ «Курская городская клиническая больница скорой медицинской помощи», г. Курск.

Работа поступила в редакцию 22.02.2013.