

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМИ МЕРОПРИЯТИЯМИ ПРИ УРОЛИТИАЗЕ НА ОСНОВАНИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Коцарь А. Г., Цуканова М. Н.

*ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94*

В работе описывается метод прогнозирования и управления профилактическими мероприятиями 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. На основании полученных решающих правил разработан алгоритм управления профилактическими мероприятиями при уролитиазе. Для проверки эффективности «срабатывания» синтезированных решающих правил были рассчитаны коэффициенты уверенности у 200 пациентов, страдающих мочекаменной болезнью, и по результатам наблюдения в течение 1 года разделены на 2 группы: 1 – люди с рецидивом камнеобразования (37 пациентов), 2 – люди без рецидива (163 пациента). По результатам наблюдений построены гистограммы распределения значений коэффициентов. Анализ пересечения гистограмм свидетельствует о высокой диагностической эффективности (0,94) синтезированных решающих правил.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь, прогнозирование, профилактика, нечеткая логика, экспертная система.

## ALGORITHM FOR THE PREDICTION AND PREVENTION OF STONE RECURRENCE IN UROLITHIASIS WITH USING FUZZY LOGIC

Kotsar A. G., Tsukanova M. N.

*Southwest State University, Kursk, Russia (305040, Russia, Kursk, street 50 let Oktyabrya, 94)*

The article describes a method of fuzzy logic for prediction and prevention 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. Based on these decision rules, we developed an algorithm for selecting the prevention method in urolithiasis. The research of the effectiveness the synthesized decision rules was conducted. We made a prospective analysis of the stone recurrence after treatment 200 patients in Kursk Emergency Hospital. After one year of follow we had two groups of patient: 37 – with recurrent stone formation, 163 – without relapse. Using decision rules were calculated curative conclusions for these patients and were constructed distribution histogram coefficient values. 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 – 0.98, the positive predictive value – 0.98, the negative predictive value – 0.91 and diagnostic efficiency is 0.94.

Key words: urolithiasis, stone recurrence, prediction, prevention, fuzzy logic, expert system.

### Введение

Уролитиаз – «болезнь цивилизации», поражающая не менее 5 % населения индустриально развитых стран [7]. Глобализация, техницизм, информатизация, дезинтеграция, свойственные современному обществу, ведут к значительным

изменениям состояния здоровья населения планеты. Демографическое старение популяции развитых стран [6], экологические проблемы, глобальное потепление [4], ускоряющийся темп жизни, меняющийся суточный ритм, режим и качество питания [5], сна и отдыха, гиподинамия, хронический стресс привели за последние 20 лет к удвоению заболеваемости мочекаменной болезни (МКБ) в таких странах, как США, Италия, Германия, Испания, Япония [10]. В России абсолютное число зарегистрированных больных мочекаменной болезнью в период с 2002 по 2009 г. увеличилось на 17,3 % [1]. Характерной особенностью и одной из серьезных проблем в лечении мочекаменной болезни являются высокие показатели рецидивирования камнеобразования. В целом у пациентов со впервые выявленными камнями существует 10-процентная вероятность появления нового камня в течение года или 50-процентная вероятность рецидива в течение 5 лет – при отсутствии медицинского обследования и лечения [12]. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в методах удаления и дезинтеграции конкрементов за счет применения экстракорпоральных и малоинвазивных эндоскопических методов, вопросы профилактики и метафилактики МКБ, воздействия на этиологические и патогенетические факторы образования и роста камней остаются в тени технологического прогресса. Особенности патогенеза заболевания и широкое внедрение современных методик дезинтеграции конкрементов (с формированием резидуальных фрагментов) обуславливают высокую частоту рецидивов заболевания. Так, после ДУВЛ вероятность рецидива камнеобразования в течение 4 лет колеблется от 20 до 41,8 % [8,9,11].

Повысить качество прогнозирования и принятия решений по выбору адекватной комбинации методов профилактики можно путем внедрения в практику врача-уролога автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР). Медицинские экспертные системы позволяют врачу не только проверить собственные диагностические предположения, но и обратиться к компьютеру за консультацией в трудных диагностических случаях; и применяются для решения неформализованных проблем, к которым относятся задачи, обладающие одной или несколькими характеристиками из следующего списка: задачи не могут быть представлены в числовой форме; исходные данные и знания о предметной области неоднозначны, неточны, противоречивы; цели нельзя выразить с помощью четко определенной целевой функции; не существует однозначного алгоритмического решения задачи. Все вышеперечисленные свойства являются типичными для медицинских задач, так как в большинстве случаев они представлены большим объемом многомерных, запутанных,

а порой и противоречивых клинических данных [2].

### **Цель исследования**

Разработка методов и средств и алгоритмов прогнозирования возникновения и рецидива мочекаменной болезни на основе комплексного учета информативных прогностических признаков, управляемых автоматизированной системой поддержки принятия решений врача-уролога, обеспечивающей высокое качество оказания медицинской помощи в условиях неопределенности и неполноты представления данных при пересекающихся структурах классов.

### **Материал и методы исследования**

Для решения поставленных задач в медицинской практике хорошо зарекомендовали себя методы нечеткой логики принятия решений и теории распознавания образов [3]. Согласно общей концепции синтеза нечетких решающих правил, задача прогнозирования возникновения/рецидива МКБ рассматривалась нами как задача разделения обследуемых на два класса:  $\omega_0$  – риск заболевания МКБ отсутствует,  $\omega_1$  – существует риск возникновения или рецидива заболевания.

С учетом поставленной задачи на основании анализа литературных данных и собственного опыта был сформирован перечень информативных признаков – факторов риска возникновения мочекаменной болезни, получаемых в результате опросов, осмотров и простейших исследований. В этот перечень вошли следующие признаки.

*Для прогнозирования возникновения МКБ*

#### **I. Место проживания:**

$x_1$  – климатогеографическая зона,  $x_2$  – миграция с частой сменой климатических условий.

#### **II. Производственные факторы:**

$x_3$  – класс труда по выполняемой нагрузке,  $x_4$  – нарушения привычной ритмичности жизни и режима труда,  $x_5$  – характер трудового процесса.

#### **III. Факторы питания:**

$x_{10}$  – злоупотребление продуктами, повышающими кислотность мочи (острая, соленая, кислая пища),  $x_{11}$  – употребление «сырой» воды,  $x_{12}$  – питьевой режим (мл/сут).

#### **IV. Поведенческие факторы:**

$x_{13}$  – длительная стрессовая ситуация,  $x_{14}$  – двигательная активность,  $x_{15}$  – длительный прием потенциально литогенных медикаментов.

#### **V. Медико-биологические факторы:**

$x_{16}$  – наследственная предрасположенность,  $x_{17}$  – индекс массы тела (кг/м<sup>2</sup>),  $x_{18}$  –

патология костей,  $x_{19}$  – хронические заболевания желудочно-кишечного тракта,  $x_{20}$  – рН мочи,  $x_{21}$  – гиперурикемия,  $x_{22}$  – кристаллурия,  $x_{23}$  – фоновые заболевания,  $x_{24}$  – врожденные аномалии и приобретенные анатомические дефекты мочевой системы,  $x_{25}$  – нейрогенная дисфункция мочевого пузыря, инфравезикальная обструкция,  $x_{26}$  – хронический пиелонефрит,  $x_{27}$  – количество функционирующих почек,  $x_{28}$  – возраст пациента,  $x_{29}$  – пол пациента,  $x_{30}$  – генетические патологии.

*Для прогнозирования рецидива МКБ дополнительно:*

#### **VI. Индивидуальные особенности течения МКБ:**

$x_{31}$  – пациент страдает мочекаменной болезнью,  $x_{32}$  – начало заболевания произошло в раннем возрасте (до 25 лет),  $x_{33}$  – частота повторного образования камней в течение последних трех лет,  $x_{34}$  – химический состав камней,  $x_{35}$  – остаточные фрагменты (спустя 3 мес. после лечения камней),  $x_{36}$  – двустороннее объемное поражение камнями.

Используя каждый из выделенных признаков, как носитель функций принадлежности, группа высококвалифицированных экспертов – специалистов в области урологии, под руководством инженера по знаниям, построила функции принадлежности к классу  $\omega_1$ . Полученные данные были усреднены по всем экспертам и после их экспертного согласования получен набор соответствующих функций принадлежности.

С учетом того, что все приведенные факторы приводят к увеличению уверенности в прогнозе возникновения/рецидива мочекаменной болезни, общая прогностическая уверенность ( $KU_{PMKB}$ ) определяется итерационной формулой вида:

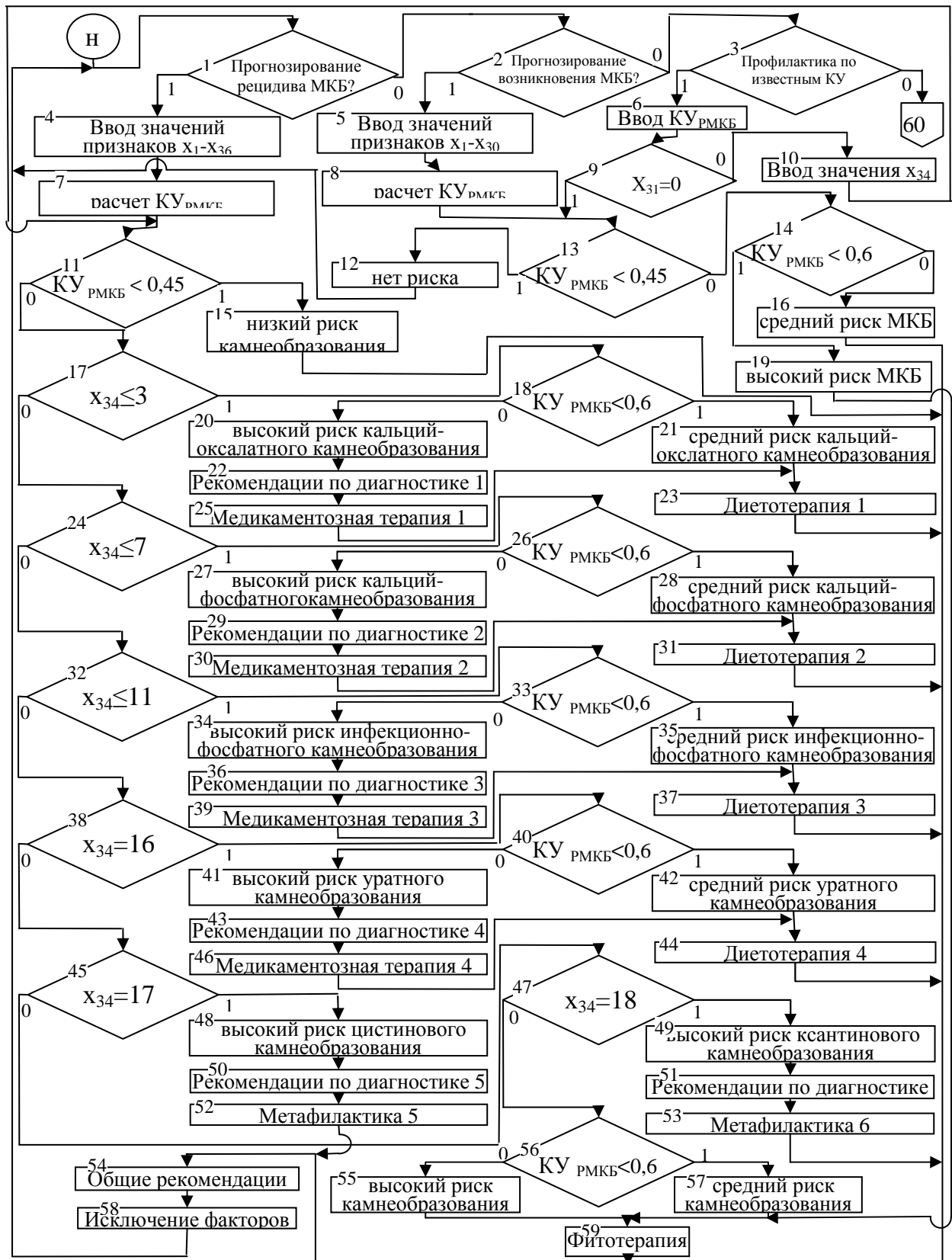
$$KU_{PMKB}(r+1) = KU_{PMKB}(r) + \mu_{\omega_1}(x_{i+1})[1 - KU(r)], \quad (1)$$

где  $KU_{PMKB}(r)$  – коэффициент уверенности в классе  $\omega$  на  $r$ -ом шаге итерации; причем  $KU_{PMKB}(r) = \mu_{\omega}(x_1)$ ;  $\mu_{\omega}(x_{i+1})$  – функция принадлежности для вновь вводимого признака с номером  $i+1$ ,  $i=1, \dots, 36$ .

Получаемые результаты нечетких решающих правил являются исходными данными для работы алгоритма управления профилактическими мероприятиями при МКБ. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 1.

Словесный алгоритм управления диагностическими и лечебными мероприятиями, предлагаемый в работе, состоит из следующих пунктов:

1. Определяется задача исследования: прогнозирование и метафилактика рецидива МКБ (блок 1), прогнозирование и профилактика возникновения МКБ (блок 2), профилактика по известным КУ (блок 3).



### Рис.1.Алгоритм профилактики МКБ

2. Методом опроса у обследуемого выясняется наличие и выраженность факторов риска. В зависимости от поставленной задачи: для прогнозирования рецидива признаки  $x_1-x_{30}$  (блок 4), для прогнозирования возникновения –  $x_1-x_{36}$  (блок 5). По этим факторам на основании выражения 1 рассчитывается коэффициент уверенности  $KU_{PMKB}$  (блок 7,8).

3. Если решается задача прогнозирования рецидива, то уточняется химический состав камней (блоки 17,24,32,38,45,47).

4. Проверяются условия превышения  $KU_{PMKB}$  пороговых значений  $KU_{PMKB}^{П1}$  и  $KU_{PMKB}^{П2}$  (блоки 11,13,14, 18, 26,33,40, 56) и формируется четкий вывод работы блока прогнозирования с указанием значения  $KU_{PMKB}$ :

ЕСЛИ ( $KU_{PMKB} < KU_{PMKB}^{П1}$ ) (блоки 11, 13) ТО [«нет риска возникновения мочекаменной болезни» (блок 12) ИЛИ «низкий риск рецидива камнеобразования» (блок15)];

ЕСЛИ ( $KU_{PMKB}^{П1} \leq KU_{PMKB} < KU_{PMKB}^{П2}$ ) (блоки 14, 18, 26, 33, 40, 56), ТО [«средний риск возникновения мочекаменной болезни» (блок 16) ИЛИ «средний риск рецидива камнеобразования» (блоки 21, 28,35, 42,57)]

ИНАЧЕ [«высокий риск возникновения мочекаменной болезни» (блок 19) ИЛИ «высокий риск рецидива камнеобразования» (блок 20,27,34,41,48,49,55)].

7. На основании полученных данных, принимается решение о проведении профилактических мероприятий, путем комбинации профилактических блоков согласно следующим принципам.

При среднем риске возникновения МКБ и низком риске рецидива камнеобразования необходимо проведение профилактических мероприятий. В данном классе достаточно исключения, или ослабления влияния имеющихся факторов риска (блок 58) и соблюдения общих профилактических мероприятий по предупреждению возникновения МКБ (блок 54).

При высоком риске возникновения мочекаменной болезни к программе профилактики добавляется фитотерапия (блок 59).

В случае среднего риска рецидива уже имеющейся мочекаменной болезни к метафилактике, кроме предыдущих блоков 54,58, добавляется фитотерапия (блок 59) и, при известной минералогической форме уrolитиаза, диетотерапия (блоки 23, 31,37, 44).

При высоком риске рецидива уролитиаза профилактические мероприятия, кроме блока 54 и 58, дополняются проведением специфических (с учетом химического состава конкрементов) медикаментозных мероприятий (блоки 25,30,39,46,52,53) и рекомендациями по лабораторной диагностике (блоки 22,29,36,43,50,51).

8. При решении задачи «профилактика по известным значениям КУ», пользователю необходимо ввести значение известного или предполагаемого КУ (блок б), и для уточнения предметной области профилактических рекомендаций ответить на вопрос, «страдает ли пациент мочекаменной болезнью?» (блок 9), и выбрать минералогический состав конкремента (блок 10). В зависимости от результата система по алгоритму переходит к искомым профилактическим блокам.

### Результаты исследования

Для проверки качества «срабатывания» синтезированных решающих правил проведен проспективный анализ рецидивов камнеобразования у 200 пациентов мочекаменной болезнью, находившихся на стационарном лечении в урологическом отделении ОБУЗ КГКБ СМП г. Курска за период 2010–2012 гг. Для всех пациентов, согласно синтезированным решающим правилам, были рассчитаны КУрмкб. Больные МКБ после выписки из стационара наблюдались в течение 1 года. Мониторинг камнеобразования осуществлялся путем выполнения ультразвукового исследования почек. По его результатам пациенты разделены на 2 группы: 1 – люди с рецидивом камнеобразования (37 пациентов), 2 – люди без рецидива (163 пациента). С учетом полученных результатов построены гистограммы процентного соотношения обследуемых по значениям КУ (рис. 2).

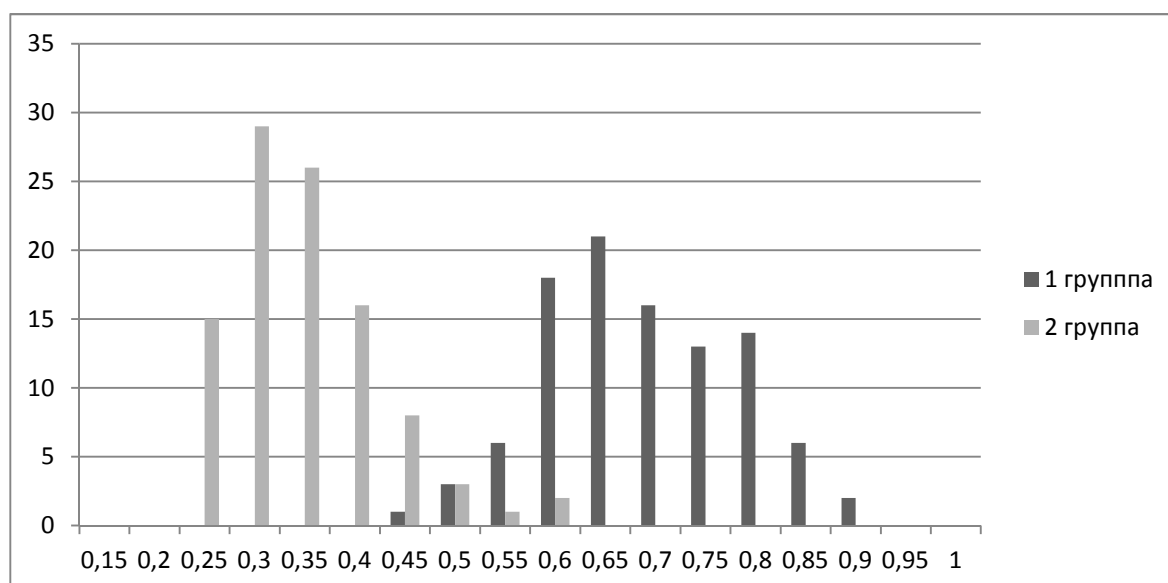


Рис. № 2. Гистограммы распределения объектов классов по значению  $KU_{PMKB}$

На основании анализа пересечения полученных гистограмм в качестве пороговой величины  $KU_{PMKB}^{\Pi}$  для прогнозирования рецидива МКБ была выбрана величина 0,6. Относительно этой величины определялись показатели качества прогнозирования рецидива МКБ по  $KU_{PMKB}$ , которые составили: диагностическая чувствительность – 0,9; диагностическая специфичность – 0,98. Прогностическая значимость положительных результатов – 0,98; прогностическая значимость отрицательных результатов – 0,91; диагностическая эффективность – 0,94.

### **Выводы**

Анализ полученных результатов показывает удовлетворительное совпадение результатов экспертного оценивания и проверки качества работы, синтезированных решающих правил на контрольной выборке. Полученные показатели качества прогнозирования МКБ позволяют рекомендовать описанный метод для широкого использования в медицинской практике.

### **Список литературы:**

1. Анализ уронефрологической заболеваемости в Российской Федерации по данным официальной статистики / О. И. Аполихин [и др.] // Экспериментальная и клиническая урология. – 2010. – № 1. – С. 4–11.
2. Дюк В. А., Эмануэль В. Л. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. – СПб.: Питер, 2003.
3. Корневский Н. А., Титов В. С., Чернецкая И. А. Проектирование систем поддержки принятия решений для медико-экологических приложений: Монография / Курск гос. техн. ун-т. – Курск, 2004. – 180 с.
4. Brikowski T. H., Lotan Y., Pearle M. S. Climate-related increase in the prevalence of urolithiasis in the United States // Proc Natl Acad Sci USA. – 2008. – Vol. 105, N 28. – P. 9841–9846.
5. Chang I. H., Kim K. D., Moon Y. T., Kim T. H., Myung S. C., Kim Y. S., Lee J. Y. Possible Relationship between Metabolic Syndrome Traits and Nephrolithiasis: Incidence for 15 Years According to Gender // Korean J Urol. – 2011. – Vol. 52, N 8. – P. 548–553.
6. Indridason O. S., Birgisson S., Edvardsson V. O., Sigvaldason H., Sigfusson N., Palsson R. Epidemiology of kidney stones in Iceland: a population-based study // Scand J Urol. Nephrol. – 2009. – Vol. 40. – N 3. – P. 215–220.



7. Knoll T. Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis // EurUrol Suppl. – 2010. – Vol. 9. – P. 802–806.
8. Kamihira O., Ono Y., Katoh N. Long-term stone recurrence rate after extracorporeal shock wave lithotripsy // J Urol 1996. – №156(4). – P. 1267–1271.
9. Lahme S., Wilbert DM, Bichler KH. Significance of ‘clinically insignificant residual fragments (CIRF) after ESWL //Urologe. – 1997. – № 36(3). – P.226–230.
10. Romero V., Akpınar H., Assimos D. G. Kidney Stones: A Global Picture of Prevalence, Incidence, and Associated Risk Factors. // Rev Urol. – 2010. Vol. 12, N 2–3. – P. 86–96.
11. Tiselius H. G. Recurrent stone formation in patients treated with extracorporeal shock wave lithotripsy// J Stone Dis. – 1992. – № 4. – P.152–157.
12. Tolley D. A. Indispensable guides to clinical practice urinary stone / Tolley D. A., Segura S. W. – Oxford:Health Press, 2002. – P. 73.

**Рецензенты:**

Серегин Станислав Петрович, доктор медицинских наук, заведующий урологическим отделением № 2 ОБУЗ Курская городская клиническая больница скорой медицинской помощи, г. Курск.

Сипливый Геннадий Вячеславович, доктор медицинских наук, профессор кафедры урологии ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет», г. Курск.