

УДК 615.47

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ УРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

<sup>1</sup>Петров С.В., <sup>1</sup>Корневский Н.А., <sup>1</sup>Серегин С.П., <sup>2</sup>Халилов М.А.,  
<sup>2</sup>Михайлов И.В., <sup>3</sup>Чуклинова Л.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: spetrov77@list.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет»,  
Орел, e-mail: Rolaw@rambler.ru;

<sup>3</sup>БУЗ Орловской области «Орловский онкологический диспансер», Орел, e-mail: spetrov77@list.ru

В статье показана целесообразность использования экспертных систем для решения медицинских задач. Отмечено, что в связи с высокими значениями уровня временной и стойкой нетрудоспособности населения имеется потребность в модернизации системы практического здравоохранения. Проводится анализ специфики школ Л. Заде и Е. Шортлифа в рамках доступности подходов систем нечеткой логики для восприятия врачами-экспертами. Приводится метод прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения наиболее распространенных и актуальных урологических заболеваний с использованием аппарата нечеткой логики принятия решений. Сформулировано выражение, объединяющее два подхода теории нечеткой логики принятия решений, позволяющее расширить границы применимости каждого из них. Предложенный метод синтеза нечетких решающих правил обеспечивает приемлемую в клинической практике эффективность прогноза и диагностики заболевания, позволяет осуществлять дифференцированный подход к выбору лечебных и профилактических мероприятий.

**Ключевые слова:** экспертная система, система поддержки принятия решений врача-уролога, нечеткая логика принятия решений

## APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN UROLOGICAL DISEASES

<sup>1</sup>Petrov S.V., <sup>1</sup>Korenevskiy N.A., <sup>1</sup>Seregin S.P., <sup>2</sup>Khalilov M.A.,  
<sup>2</sup>Mikhaylov I.V., <sup>3</sup>Chuklinova L.V.

<sup>1</sup>Southwest State University, Kursk, e-mail: spetrov77@list.ru;

<sup>2</sup>Orel State University, Orel, e-mail: halilov.66@mail.ru;

<sup>3</sup>Orel Oncology Center, Orel, e-mail: spetrov77@list.ru

Feasibility of use of expert systems for the solution of medical tasks is shown in article. It is marked that in connection with high values of level of temporary and resistant disability of the population a need for upgrade of system of practical health care is had. The analysis of specifics of schools of L. Zade and E. Shortlif within accessibility of approaches of systems of fuzzy logic to perception by medical experts is carried out. The forecasting method, diagnostics, prevention and treatment of the most widespread and actual urological diseases with use of the device of fuzzy logic of decision-making is given. The expression integrating two approaches of the theory of fuzzy logic decision-making, allowing to expand boundaries of applicability of each of them is formulated. The offered method of synthesis of indistinct decisive rules provides the efficiency of the forecast and diagnosis of a disease accepted in clinical practice, allows to realize differentiated approach to a choice of medical and preventive actions.

**Keywords:** expert system, decision support system urologist, fuzzy logic decision making

В последнее время использование современных информационных технологий становится критическим фактором развития большинства отраслей знания и областей практической деятельности, поэтому разработка и внедрение информационных систем в медицине является одной из актуальных задач [1]. Повысить качество диагностики и принятия решений по выбору адекватной комбинации методов лечения пациента можно путем внедрения в практику врача экспертных систем (ЭС). Медицинские экспертные системы позволяют врачу не только проверить собственные предположения, но и обратиться к компьютеру за консультацией в трудных диагностических случаях [2]. При этом ЭС не заменяет врача, а выступает

в роли «компетентного партнера» – эксперта-консультанта в какой-либо конкретной предметной области. Достоинства ЭС:

- объективность выводов, отсутствие эмоциональных и других факторов человеческой ненадежности;
- аккумулируют опыт и знания высококвалифицированных специалистов, позволяют пользоваться этими знаниями пользователям – «неспециалистам» в данной предметной области;
- достигнутая компетентность не утрачивается при отсутствии практики, может документироваться, передаваться, воспроизводиться и наращиваться;
- низкая стоимость эксплуатации, возможность неограниченного тиражирования.

Экспертные системы 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 четкой 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 [5]. Поэтому неслучайно первая (механическая) ЭС была создана для решения медицинских задач: «интеллектуальные машины» С.Н. Корсакова (1832 г.), позволявшие подбирать подходящие лекарства по симптомам заболевания. История компьютерных ЭС начинается с 1960-х годов, когда одной из первых была создана медицинская система MYCIN – для диагностики серьезных бактериальных инфекций и помощи в выборе антибиотиков. Сейчас количество ЭС исчисляется тысячами и десятками тысяч. В развитых зарубежных странах сотни фирм занимаются их разработкой и внедрением в различные сферы жизни. В США затраты на создание и модернизацию медицинских информационных систем составляют в год около 8,5 млрд долл.

Между тем заболевания мочеполовой системы вносят значимый вклад в уровень временной и стойкой нетрудоспособности населения [3, 4]. Разработка алгоритмов ранней диагностики, своевременной терапии данной патологии позволяет уменьшить риск осложнений, в том числе при обострениях хронической патологии, наиболее часто наблюдаемых у беременных.

**Цель исследования** – разработка методов и средств прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения наиболее распространенных и актуальных урологических заболеваний, 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 (па-

циента) к одному из классов (возможных лечебных групп), возможность одновременного присутствия объекта со сходными значениями одного и того же признака в различных классах, четкая логика неприемлема для однозначного вывода в принятии решений по лечебной тактике. Поэтому в качестве основного математического аппарата выбрана нечеткая логика принятия решений [6].

Опыт синтеза нечетких решающих правил для оценки состояния сложных систем, какой является медицина, показал, что хороших результатов удается достичь при совместном использовании двух подходов принятых в теории нечеткой логики принятия решений: подхода разработанного школой Л. Заде [8, 10], оперирующего с функциями принадлежности к исследуемым классам состояний  $\omega_r$  и подхода Е. Шортлифа [7, 9], оперирующего понятиями коэффициентов уверенности в отнесении объектов к классу  $\omega_c$ .

Специалисты, работающие в области нечеткой логики принятия решений, отмечают, что логические построения теории Л. Заде отличаются богатыми возможностями по конструированию языковых механизмов формальных эквивалентных преобразований, но базовые формализмы нечеткой логики могут не соответствовать существу решаемой задачи и, кроме того, процедуры получения решающих правил могут быть настолько сложны, что требуют глубокой специальной подготовки, затрудняя специалистов в построении адекватных решающих правил.

Логические и вычислительные процедуры Е. Шортлифа построены на основании глубокого изучения большого эмпирического материала и в определенном смысле моделируют врачебную логику принятия решений.

В основе подхода Е. Шортлифа лежит предположение о том, что два подкрепляющих друг друга свидетельства должны усилить доверие к заключению (прогнозу, диагнозу), возможно давая более высокую степень истинности, чем средняя или даже максимальная. С другой стороны, несколько свидетельств, указывающих в одном направлении, не могут быть полностью компенсированы свидетельством, указывающим в обратном направлении. Такая логика рассуждений реализуется формулой для расчета уверенности в принятом решении  $\omega_r$ , определяемой через соответствующий коэффициент уверенности ( $KU_{\omega_r}$ ):

$$KU_{\omega_r} = MD_{\omega_r} - MND_{\omega_r}, \quad (1)$$

где  $MD_{\omega_r}$  – мера доверия к решению (к классификации  $\omega_r$ );  $MND_{\omega_r}$  – соответствующая мера недоверия.

В свою очередь каждая из составляющих определяется итерационными выражениями вида

$$MD_{\omega_r}(j+1) = MD_{\omega_r}(j) + MD_{\omega_r}(Y_i) [1 - MD_{\omega_r}(j)] \quad (2)$$

$$MND_{\omega_r}(j+1) = MND_{\omega_r}(j) + MND_{\omega_r}(Y_q) [1 - MND_{\omega_r}(j)], \quad (3)$$

где  $j$  – номер итерации, часто совпадающий с номерами признаков и (или) частных (промежуточных) коэффициентов уверенности;  $MD_{\omega_r}(Y_i)$  – мера доверия к  $\omega_r$  от вновь поступившего свидетельства (признака, комбинированного показателя и т.д.)  $Y_i$  к моменту, когда для всех предыдущих свидетельств  $MD_{\omega_r}(j)$  уже определена;  $MND_{\omega_r}(Y_q)$  – мера недоверия от вновь поступившего свидетельства  $Y_q$ .

Как показали результаты использования нечеткой логики принятия решений в медицинской практике, эксперты часто в качестве признаков и (или)

комбинированных показателей используют только такие, анализ которых свидетельствует в пользу класса  $\omega_i$ .

Тогда, если в составе информативных признаков отсутствуют признаки, опровергающие версию  $\omega_i$ , то  $M_{\omega_i} = 0$ , формула (2) модифицируется до выражения

$$KY_{\omega_i}(j+1) = KY_{\omega_i}(j) + KY_{\omega_i}(Y_i)[1 - KY_{\omega_i}(j)], \quad (4)$$

где  $KY_{\omega_i}^*(Y_i)$  – коэффициент уверенности в  $\omega_i$  от одного свидетельства (фактора)  $Y_i$ .

Смысл формулы (4) состоит в том, что эффект нового свидетельства ( $Y_i$ ) в пользу гипотезы  $\omega_i$  при уже известных свидетельствах сказывается на смещении  $KY_{\omega_i}$  в сторону полной определенности на расстояние, зависящее от нового свидетельства. Важными свойствами приведенной формулы являются ее симметричность в том смысле, что порядок следования  $Y_i$  не имеет значения и движение к определенности  $KY_{\omega_i}$  (МД или МНД) производится по мере накопления подкрепляющих свидетельств.

Таким образом, логика Е. Шортлифа легко воспринимается врачами-экспертами, часто соответствует существу решаемой задачи, однако ее логические возможности уступают логике, развиваемой Л. Заде и его учениками.

Повысить гибкость и мощность логики Е. Шортлифа, сохранив простоту синтеза соответствующих правил принятия решений, можно, объединив определенным образом эти два направления нечеткой логики. Предпосылкой такого объединения может послужить то, что функция принадлежности  $\mu_{\omega_i}(Y_i)$  к классу  $\omega_i$  с базовой переменной  $Y_i$  может рассматриваться как мера соответствия (доверия) нечеткому множеству, определяемому как класс  $\omega_i$ . В свою очередь значение  $\mu_{\omega_i}(Y_i)$  вычисленное в конкретной точке  $Y_i^*$ , можно рассматривать как коэффициент уверенности в гипотезе  $\omega_i$  для свидетельства (информативного признака)  $Y_i$ . При такой интерпретации функций принадлежности выражение (4) модифицируется в выражение

$$KY_{\omega_i}(j+1) = KY_{\omega_i}(j) + \mu_{\omega_i}(Y_i)[1 - KY_{\omega_i}(j)]; \quad (5)$$

В этом выражении и далее при расчёте значений коэффициента уверенности имеется в виду, что  $\mu_{\omega_i}(Y_i)$  рассчитывается для конкретного значения  $Y_i^*$  базовой переменной  $Y_i$ .

Функция принадлежности  $\mu_{\omega_i}(Y_i)$  может быть синтезирована для одной или многих базовых переменных (информативных признаков) с использованием богатого арсенала средств нечеткой логики Л. Заде.

Таким образом, выражение (5) является объединяющим для двух подходов теории нечеткой логики принятия решений. Такое объединение позволяет расширить границы применимости каждого из них при выполнении перечисленных выше ограничений.

### Результаты исследования и их обсуждение

На кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного университета г. Курска и на базе урологических отделений ОБУЗ КГ КБ СМП г. Курска с 2005 г. по настоящее время

разрабатываются и исследуются математические методы и средства, направленные на повышение эффективности прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения урологических заболеваний, в том числе доброкачественной гиперплазии простаты, хронического простатита, мочекаменной болезни, пиелонефрита, пиелоневрита у беременных, травмы почек. На основании аппарата нечеткой логики принятия решений синтезированы решающие правила, на основании которых разработаны алгоритмы работы автоматизированной системы поддержки принятия решения врача-уролога. Синтезированные решающие правила проверены на контрольных выборках пациентов с известными исходами наблюдения, для которых рассчитывались коэффициенты уверенности и в последующем строились гистограммы распределения классов по значениям  $KY$ . Анализ гистограмм позволяет разделить результаты наблюдения на истинно положительные, истинно отрицательные, ложно положительные, ложно отрицательные.

На основании полученных данных рассчитываются показатели эффективности работы решающих правил. В результате проведенных исследований и вычислений нами были получены конкретные результаты, приведенные в таблице.

Анализ таблицы показывает хорошее совпадение врачебного и экспертного оценивания. Эти данные являются косвенным подтверждением практической пригодности методов автоматизированного оценивания. Однако в интерпретации результатов следует учитывать следующие моменты. В данном исследовании эталонным является лечебная тактика лечащего врача, с которым и сравниваются решения системы, при этом известно, что мнение и тактика врача не является абсолютной истинной, а процент врачебных ошибок достигает 30%, причем на долю субъективных ошибок приходится 60–70%. Поэтому реальные показатели работы решающих правил могут быть как выше, так и ниже приведенных. Другое построение исследования маловероятно, так как экспертная система является лишь консультантом лечащего врача, а все назначения пропускаются через «призму» врачебного восприятия. Поэтому, с одной стороны, невозможно провести «ослепление» групп, а с другой – создание выборки пациентов, леченных по жестко регламентированной системой рекомендациям, в связи с деонтологическим и правовым аспектами ответственности за последствия возможных ошибок системы.

Сводная таблица показателей качества прогнозирования и диагностики урологических заболеваний на основании синтезированных нечетких решающих правил

Задача	ДЧ	ДС	ПЗ <sup>+</sup>	ПЗ <sup>-</sup>	ДЭ
Прогнозирование возникновения хронического простатита	0,91	0,92	0,76	0,97	0,92
Прогнозирование обострения хронического простатита	0,83	0,95	0,79	0,96	0,92
Диагностика хронического простатита	0,97	0,97	0,98	0,96	0,97
Прогнозирование рецидива мочекаменной болезни	0,9	0,98	0,98	0,91	0,94
Диагностика мочекаменной болезни	0,98	0,97	0,97	0,98	0,97
Прогнозирование пиелонефрита беременных	0,9	0,91	0,89	0,92	0,91
Диагностика пиелонефрита и воспалительных осложнений у больных с травмой почки	0,95	0,94	0,98	0,84	0,96
Прогнозирование осложнений после ТУР простаты	0,85	0,88	0,88	0,86	0,87

Примечание. ДЧ – диагностическая чувствительность, ДС – диагностическая специфичность, ПЗ<sup>+</sup> – прогностическая значимость положительных результатов, ПЗ<sup>-</sup> – прогностическая значимость отрицательных результатов, ДЭ – диагностическая эффективность.

### Заключение

Использование предложенного метода синтеза нечетких решающих правил обеспечивает приемлемую в клинической практике эффективность прогноза и диагностики заболевания и позволяет осуществлять дифференцированный подход к выбору лечебных и профилактических мероприятий. Полученные показатели качества позволяют рекомендовать использовать синтезированные решающие правила для практического использования.

### Список литературы

1. Воронцов И.М., Шаповалов В.В., Шерстюк Ю.М. Здоровье. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. – СПб.: ООО «ИПК Коста», 2006. – 432 с.
2. Дюк В.А., Эмануэль В.Л. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. – СПб.: Питер., 2003. – 183 с.
3. Михайлов И.В., Халилов М.А., Курочкина О.А., Ярош Т.Г., Снимщикова А.Д. Анализ структуры заболеваний с временной утратой трудоспособности лиц, проживающих в условиях напряженного магнитного поля, формируемого Курской магнитной аномалией // Вестник новых медицинских технологий (Электронное издание). – 2014. – № 1. – URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4934.pdf> (дата обращения 17.11.2014).
4. Михайлов И.В., Халилов М.А., Курочкина О.А., Ярош Т.Г., Снимщикова А.Д. Причины и структура первичного выхода на инвалидность лиц, проживающих в условиях напряженного магнитного поля // Вестник новых медицинских технологий (Электронное издание). – 2014. – № 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4935.pdf> (дата обращения 17.11.2014).
5. Корневский Н.А. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в биологии, медицине и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Курск: ОАО «ИПП «Курск», 2010. – 521 с.
6. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. – М.: Горячая линия – телеком, 2004. – 143 с.
7. Bruce G. Buchanan, Edward H. Shortliffe. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley Publishing Company. – Reading, Massachusetts, 1984. – P. 742.
8. Lotfi Asker Zadeh, George J. Klir Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers. Google Books Result. Bo Yuan. 1996. Computers. 826 p.
9. Shortliffe E.H. Computer – Based medical Consultations: MYCIN. – New York: American Elsevier, 1976.

10. Zadeh L.A. Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering Fuzzy Sets and Fuzzy information-Granulation Theory. – Beijing. Beijing Normal University Press, 2005.

### References

1. Zdorove. Opyit razrabotki i obosnovanie primeneniya avtomatizirovannykh sistem dlya monitoringa i skriniruyushey diagnostiki narusheniy zdorovya / Vorontsov I.M., Shapovalov V.V., Sherstyuk Yu.M. SPb.: ООО «ИПК Коста», 2006. pp. 432.
2. Informatsionnyye tehnologii v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh / Dyuk V.A., Emanuel V.L., SPb.: Piter., 2003. pp. 183.
3. Mihaylov I.V., Halilov M.A., Kurochkina O.A., Yarosh T.G., Snimshchikova A.D. Analiz strukturyi zabolevaniy s vremennoy utratoy trudospobnosti lits, prozhivayuschiy v usloviyakh napryazhennogo magnitnogo polya, formiruemogo Kurskoy magnitnoy anomaliey // Vestnik novykh meditsinskiykh tekhnologiy (Elektronnoe izdanie). 2014. no. 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4934.pdf> (data obrascheniya 17.11.2014)
4. Mihaylov I.V., Halilov M.A., Kurochkina O.A., Yarosh T.G., Snimshchikova A.D. Prichiny i struktura pervichnogo vyihoda na invalidnost lits, prozhivayuschiy v usloviyakh napryazhennogo magnitnogo polya // Vestnik novykh meditsinskiykh tekhnologiy (Elektronnoe izdanie). 2014. no. 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4935.pdf> (data obrascheniya 17.11.2014)
5. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunkturyi s prilozheniyami v biologii, meditsine i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modeley / Korenevskiy, N.A., Kursk: OAO «IPP «Kursk», 2010. pp. 521.
6. Uskov A.A., Kuzmin A.V. / Intellectuálnyie tekhnologii upravleniya. Iskuststvennyye neyronnyye seti i nechetkaya logika, M: Goryachaya liniya telekom, 2004. p.143.
7. Bruce G. Buchanan, Edward H. Shortliffe. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts, 1984. pp. 742.
8. Lotfi Asker Zadeh, George J. Klir Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers. Google Books Result. Bo Yuan. 1996. Computers. 826 p.
9. Shortliffe E.H. Computer Based medical Consultations: MYCIN, New York: American Elsevier, 1976.
10. Zadeh L.A. Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering Fuzzy Sets and Fuzzy information-Granulation Theory. Beijing. Beijing Normal University Press. 2005.

### Рецензенты:

Харди́ков А.В., д.м.н., доцент кафедры акушерства и гинекологии, ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Курск;  
Новиков А.В., д.м.н., врач-уролог урологического отделения № 2, ОБУЗ «Курская городская клиническая больница скорой медицинской помощи», г. Курск.