

Бахтин А.М.¹, Трошин Г.Е.², Побединский В.В.³, Подвойский М.И.⁴

Нечеткое моделирование процесса диагностирования воспаления верхних мочевых путей

1 - МАУ ЦГБ № 20, г. Екатеринбург, 2 - МБУ ГКБ № 14, г. Екатеринбург; 3- Кафедра сервиса и технической эксплуатации ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, 4 - Физико-Технический Институт УрФУ, г. Екатеринбург

Bahtin A.M., Troshin G.E., Pobedinskij V.V., Podvojskij M.I.

Fuzzy modeling of process of diagnosing inflammation upper urinary tract

Резюме

Рассмотрена проблема постановки диагноза при воспалении верхних мочевых путей (острый неокклюзионный пиелонефрит). Выполнена содержательная постановка и формализация задачи диагностирования воспаления верхних мочевых путей на основе теории нечетких множеств. На основе нечеткого вывода с дефаззификацией по методу Мамдани получена функция степени выраженности заболевания в зависимости от содержания лейкоцитов в общих анализах крови и мочи, которая может использоваться в экспертных советующих медицинских системах, а также для моделирования в урологических заболеваниях.

Ключевые слова: воспаление верхних мочевых путей; острый неокклюзионный пиелонефрит; диагностирование; лейкоциты; нечеткий вывод; нечеткое моделирование

Summary

The problem of diagnosis with the inflammation of the upper urinary tract (acute pyelonephritis neokklyuzionny). Made substantial production and formalization of the problem of diagnosing inflammation of the upper urinary tract based on the theory of fuzzy sets. On the basis of fuzzy inference with defuzzification method Mamdani function is obtained severity of the disease, depending on the content of leukocytes in the general analysis of blood and urine, which can be used in the expert council of medical systems, as well as for modeling in urological diseases.

Keywords: inflammation of the upper urinary tract; acute pyelonephritis neokklyuzionny; diagnosis; leukocytes; fuzzy inference; fuzzy modeling

Введение

В структуре урологических заболеваний значительную долю занимает воспаление верхних мочевых путей (острый неокклюзионный пиелонефрит). При этом сложный и, как правило, занимающий длительное время процесс диагностирования играет важнейшую роль для дальнейшего лечения. При постановке диагноза врачебное заключение всегда выполняет врач-специалист, основываясь на медицинских методиках, стандартах, личных профессиональных знаниях. В нестандартных ситуациях, которые встречаются во многих случаях, врач часто находит решение, используя экспертные знания, личный опыт и интуицию. Иными словами, решение из-за неопределенности или недостатка исходных данных находится как называемый эвристическим путем. Именно такие методы рассматриваются в практических приложениях теории нечетких множеств. К этому следует добавить, что и при медицинском описании заболевания, его тяжести, выраженности, диагностических данных также используются понятия теории нечетких множеств. Не-

четкое моделирование находит применение в медицине, а в профессиональной среде уже давно пришли к пониманию [1-2,4-6], что это направление в ближайшее будущее найдет массовое применение также как в технике и во многих других областях знаний. Например, в экспертных интеллектуальных системах для врачебной практики, системах автоматического регулирования медицинской аппаратуры, моделировании лечебных процессов и других направлениях.

Анализ литературных источников по этой тематике показывает, что основное внимание исследователи уделяют теоретическим вопросам применения некоторых положений теории нечетких множеств в медицине, возможностям таких подходов, соответствия физической природы медицинских данных идеологии нечетких множеств и другим частным вопросам. Однако примеров практического приложения нечеткого моделирования, нечеткого вывода, решения конкретных задач с применением математического аппарата нечетких множеств в открытой печати не встречается. Все это не позволяет сформировать

ровать определенную теоретическую базу для внедрения информационных технологий в медицинскую практику, следовательно, является серьезным препятствием для дальнейшего развития медицины. В этой связи разработка новых методов диагностирования заболеваний на основе нечеткого моделирования, в частности воспаления верхних мочевых путей, является актуальной.

Целью настоящей работы являлось получение функциональной зависимости степени воспаления верхних мочевых путей (неокклюзионного пиелонефрита) от содержания лейкоцитов в общем анализе крови (лейкоцитоз) и лейкоцитов в общем анализе мочи (лейкоцитурия) на основе нечеткого моделирования.

Достижение поставленной цели предусматривало решение следующих задач:

1. Выполнение содержательной постановки задачи нечеткого вывода степени воспаления верхних мочевых путей.
2. Выполнение практической реализации задачи нечеткого вывода.
3. Синтез нечеткой модели степени воспаления верхних мочевых путей (острый неокклюзионный пиелонефрит) от диагностических параметров средствами Fuzzy Logic Toolbox с целью дальнейшей стандартизации в диагностике и лечении заболеваний.

Материалы и методы

В методике выполнения нечеткого вывода [4-6] содержательная постановка задачи используется для того, чтобы представить эмпирические данные об управлении объектом в форме определенных эвристических правил. В этом случае выполняется словесное описание задачи состояния в данном объекте случае пациента в зависимости от диагностических параметров. В настоящей работе эта процедура выполняется одновременно с формированием базы правил системы нечеткого вывода, а в содержательном описании задачи определены наиболее специфические особенности медицинского диагностирования.

Общие представления о симптоматике заболевания воспаления верхних мочевых путей и влияния протекания болезни ее выраженности и связи с диагностическими параметрами приведены в работе [3], на которой базируются настоящие исследования. Развивая положения указанной работы, на основе нечеткого моделирования появляется возможность обобщения разрозненных экспериментальных и экспертных данных, и получения более полной картины степени выраженности в зависимости от сочетаний параметров, на основе которых выполняется предварительный диагноз.

Итак, содержание лейкоцитов в общем анализе мочи можно считать в наиболее информативной области от 0 до 100 ед, как это указывается в [3]. Однако на практике и других источниках приводятся данные, которые ограничивают достаточную область до 25 ед. Содержание лейкоцитов в общем анализе крови можно считать в наиболее информативной области от 4×10^9 до 19×10^9 . Указанный диапазон параметров лейкоцитоза обусловлен рассматриваемой фазой воспаления.

В качестве дополнительных условий приняты возраст от 20 до 50 лет и пол – мужской, при этом рассмотрен случай острого неокклюзионного пиелонефрита в фазе серозного воспаления и отсутствие сопутствующих заболеваний, искажающих лабораторные данные и данные клинической картины (ВИЧ, сахарный диабет, ХПН, СКВ и т.п.).

При различных сочетаниях указанных диагностических параметров степень выраженности заболевания принимает разные значения. Как известно из медицинской практики [3], состояние варьируется в пределах от «отсутствие симптомов» до «критического».

Результаты и обсуждение

Дадим самые основные достаточно достоверные зависимости степени выраженности заболевания от содержания лейкоцитов по результатам анализа в описательном виде, аналогичном правилам в теории нечетких множеств («если $A=B$ и $C=D$ и ... то $mi=nj$ и ...») [3], используя предварительные исследования, медицинскую практику, а также известные статистические данные и экспертные оценки:

- если «Лейкоцитов в ОАК»=«Минимальное» и «Лейкоцитов в ОАМ»=«Минимальное» то «Степень выраженности заболевания»= «Минимальная»;
- если «Лейкоцитов в ОАК»=«Максимальное» и «Лейкоцитов в ОАМ»=«Максимальное» то «Степень выраженности заболевания»= «Максимальная»;
- если «Лейкоцитов в ОАК»=«Среднее» и «Лейкоцитов в ОАМ»=«Среднее» то «Степень выраженности заболевания»= «Средняя»;
- если «Лейкоцитов в ОАК»=«Большое» и «Лейкоцитов в ОАМ»=«Большое» то «Степень выраженности заболевания»= «Тяжелая форма».

Аналогично выводятся правила для других сочетаний лингвистических соотношений входных характеристик и выходной величины, например, «Малый», «Большой», «Средний» и др.

Практическая реализация задачи нечеткого вывода

Определение входных и выходных переменных задачи (приведение к нечеткости). Входными величинами задачи принимается содержание лейкоцитов в общем анализе мочи, LOAM, и лейкоцитов в общем анализе крови, LOAK.

Для выходной величиной введен такой показатель, как степень выраженности заболевания (СВЗ). Для удобства определим этот показатель на шкале от 0 до 5 и в безразмерном виде.

Определим для входных и выходных переменных нечеткие функции принадлежности в виде лингвистических переменных. Во многих случаях при решении подобных задач [4,5] на универсуме нечеткого множества принимают минимальное значение функции принадлежности равное трем, что позволяет обойтись небольшим объемом базы правил. Но в таких случаях, в зависимости от размерности параметров, выходная величина аппроксимируется менее гладкой, ступенчатой функцией. Для повышения точности рекомендуется увеличивать коли-

Таблица 1. Состав базы правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности

Значения лингвистической переменной «Лейкоциты, L_{OAM} »	Значения выходных нечетких подмножеств «Степень выраженности заболевания, СВЗ» при изменении нечеткой функции «Лейкоциты L_{OAK} »				
	Мин	М	Ср	Б	Мах
Мин	Нс	Л	Л	Ср	Нс
М	Л	Л	Ср	Ср	Ср
Ср	Л	Л	Ср	Ср	Тф
Б	Ср	Ср	Ср	Тф	Кр
Мах	Ср	Ср	Тф	Кр	Кр

чество значений каждой лингвистической переменной и принимать их в диапазоне от 3 до 7 [6]. В данном случае будет наиболее рационально принять пять значений входных и выходной лингвистических переменных.

На рисунках 1а, 1б показаны функции принадлежности входных переменных в виде треугольных нечетких чисел и трапециевидных интервалов, а на рисунке 1в приведена нечеткая функция лингвистической переменной «Степень выраженности заболевания, СВЗ». В качестве обозначений лингвистических переменных для предложенных входных функций приняты следующие значения: Мин-минимальный; М-малый; Ср-средний; Б-большой; Мах-максимальный. Для выходной лингвистической переменной прием обозначения больше соответствующие смыслу задачи: Нс-нет симптомов, Л-легкая форма, Ср-средней тяжести, Тф-тяжелая форма, Кр-критическое состояние.

В терминах теории нечетких множеств лингвистические переменные определены термножествами со следующие значениями:

- «Лейкоциты, LOAM» {Мин, М, Ср, Б, Мах};
- «Лейкоциты, LOAK» {Мин, М, Ср, Б, Мах};
- «Степень выраженности заболевания, СВЗ» {Нс, Л, Ср, Тф, Кр}.

Будем полагать, что термножества значений лингвистических переменных представлены треугольными и трапециевидными нечеткими числами, а на границах области определения S-образными и Z-образными нечеткими интервалами (рисунок 1).

Формирование базы правил системы нечеткого вывода. Используем для получения функции нечеткого вывода наиболее распространенный на практике метод Мамдани [4-6], который предусматривает разработку базы правил нечеткой продукции. Составим базу правил нечеткой продукции в матричной форме и в полном объеме (таблица 1).

Синтез нечеткой модели

Изложенная формальная постановка задачи нечет-

кого вывода функции СВЗ = f(LOAK, LOAM) позволяет реализовать ее в специализированных компьютерных программах и позволяет уточнить и обосновать алгоритм диагностики (КТ почек).

Реализация задачи нечеткого вывода выполнена в среде FISEditor (рисунок 2) приложения MatLabFuzzyLogicToolbox [7]. В данном случае использовался алгоритм по известной [4-6] методике:

1. Фаззификация (введение нечеткости), (рисунки 2а-2в);
2. Формирование базы правил нечеткой продукции (рисунок 2г);
3. Нечеткий вывод (рисунок 2д);
4. Дефаззификация (приведение к четкости), (рисунок 2д);
5. Получение функции нечеткого вывода (рисунок 2е).

Выводы

1. В настоящее время совершенствование методов исследований в медицине, диагностирования заболеваний невозможно без применения современных интеллектуальных программных систем и компьютерных средств. Традиционно используемые вероятностные методы для оценки симптоматических показателей, различных диагностических данных является недостаточно корректным подходом. Для широкого класса задач медицины в наибольшей степени подходят методы, основанные на теории нечетких множеств.

В этой связи предложенная постановка задачи нечеткого моделирования и реализация соответствующего программного обеспечения в среде MatLab позволяет эффективно использовать информационные технологии в исследованиях, моделировании и совершенствовании технологий диагностирования урологических заболеваний.

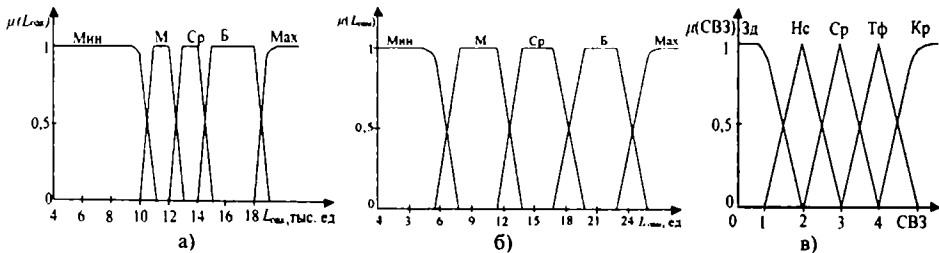


Рисунок 1. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных

а - «Лейкоциты, LOAK»; б - «Лейкоциты, LOAM»; в - «Степень выраженности заболевания, СВЗ»

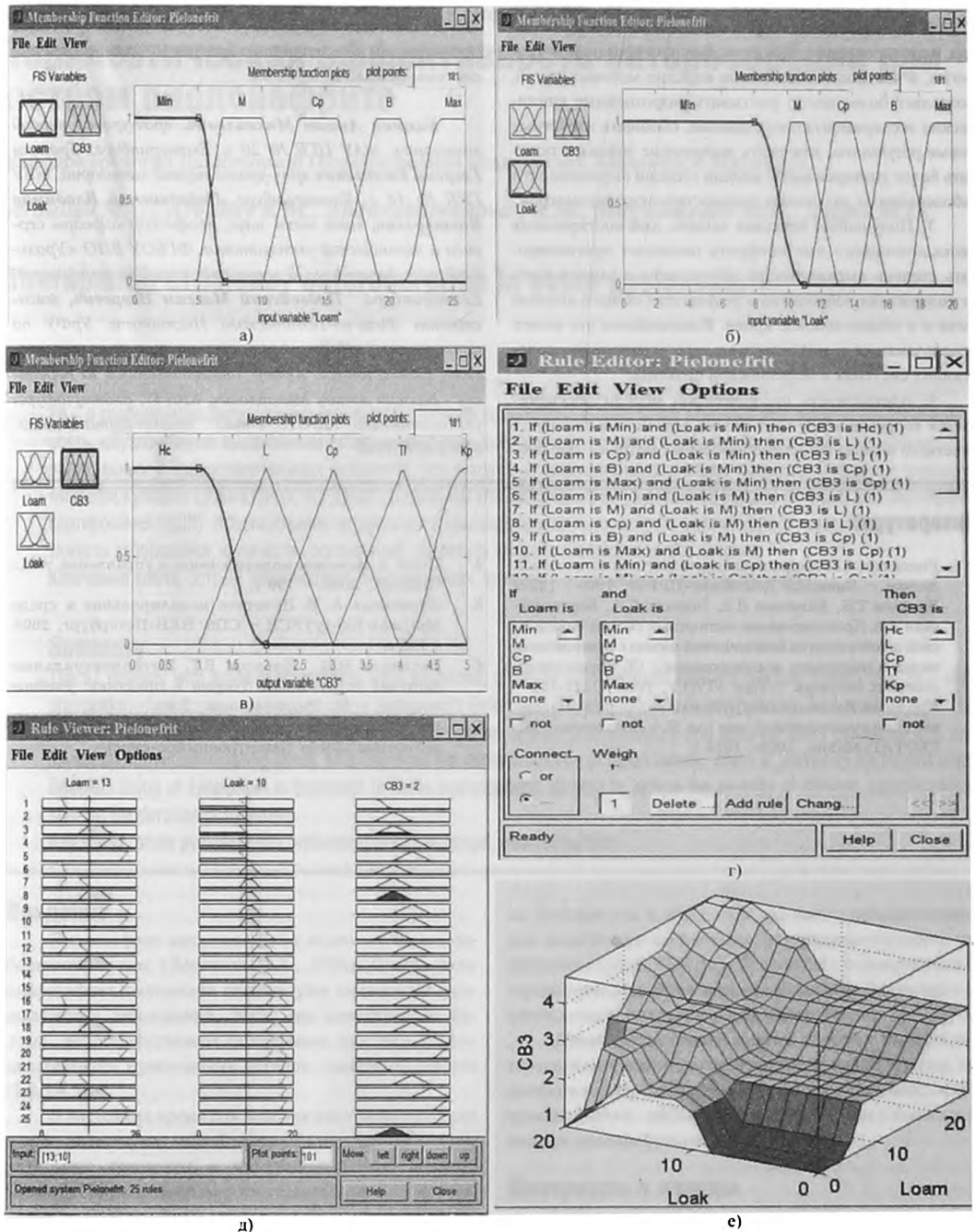


Рисунок 2. Нечеткий вывод в среде FISEditor приложения MatLabFuzzyLogicToolbox

а – нечеткая функция принадлежности переменной «Лейкоциты, LOAM»; б – нечеткая функция принадлежности переменной «Лейкоциты, LOAK»; в – нечеткая функция принадлежности лингвистической переменной «Степень выраженности заболевания, СВ3»; г – база правил нечеткого вывода; д – процедура нечеткого вывода и приведения к четкости; е – результирующая функция $CB3 = f(LOAK, LOAM)$ нечеткого вывода степени выраженности заболевания

2. Использование теории нечетких множеств в задачах моделирования процесса диагностирования в урологии, в частности воспаления верхних мочевых путей, позволяет более полно учитывать разрозненные клинические экспериментальные данные, обобщать известные новые результаты, вовлекать экспертные знания и получать более универсальные модели степени выраженности заболевания от различных диагностических параметров.

3. Полученная нечеткая модель диагностирования неокклюзионного пиелонефрита позволяет прогнозировать степень выраженности заболевания в зависимости от содержания лейкоцитов в результатах общего анализа мочи и в общем анализе крови. В дальнейшем это может использоваться в интеллектуальных экспертных советующих системах в медицинской практике.

4. Адекватность предложенной модели обеспечивается корректностью постановки задачи и выполнения нечеткого вывода на основе известных методик, обраще-

ния к клиническим и диагностическим данным, а также применением лицензионного программного обеспечения системы MatLab. ■

Бахтин Антон Михайлович, врач-уролог первой категории, МАУ ЦГБ № 20 г. Екатеринбург; Трошин Георгий Евгеньевич врач-уролог первой категории, МБУ ГКБ № 14 г. Екатеринбург, Побединский Владимир Викторович, канд. техн. наук, профессор кафедры сервиса и технической эксплуатации ФГБОУ ВПО «Уральский госу-дарственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Подвойский Максим Игоревич, магистрант Физи-ко-Технического Института УрФУ по направлению «Информационные системы и технологии», Екатеринбург, Автор, ответственный за переписку – Бахтин Антон Михайлович, 620147, Екатеринбург, ул.Постовского, 12а-318, e-mail: braskot@gmail.ru, тел. 8-902-878-3695.

Литература:

1. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. – Винница: Континент-ПРИМ, 1996. - 132 с.
2. Брейкин Т.В., Камалова Л.З., Попкова С.Я., Карташевская А.А. Проектирование экспертных систем медицинской диагностики на базе нечеткой логики с применением методов системного моделирования / Сб. Управление в сложных системах – Уфа: УГАТУ, 1999.- С.127-134.
3. Урология. Национальное руководство. Серия «Национальные руководства»/ под ред. Н.А. Лопаткина. – М: ГЕОТАР-Медиа, 2009.- 1024 с.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ, 2009. – 798 с.
5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
6. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2009. – 393 с.
7. [www.mathworks.com / MATLAB®&Simulink®ReleaseNotesforR2008a](http://www.mathworks.com/MATLAB_Simulink_ReleaseNotesforR2008a) [Электронный ресурс].