



З.И. АБДУЛАЕВА,

к.э.н., доцент кафедры медицинской информатики и физики, Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, zina@mail.ru

Д.Ф. КУРБАНБАЕВА,

к.э.н., доцент кафедры медицинской информатики и физики, Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, kurbanbaeva_dina@mail.ru

М.Э. ТОПУЗОВ,

д.м.н., профессор кафедры урологии, Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, martop@mail.ru

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАТРИЧНОГО АГРЕГАТНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ИМПЛИЦИТНЫХ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ РПЖ

УДК 004

Абдулаева З.И., Курбанбаева Д.Ф., Топузов М.Э. *Разработка модели матричного агрегатного вычислителя для анализа имплицитных знаний в интеллектуальной системе ранней диагностики РПЖ (Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, г. Санкт-Петербург, Россия)*

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблем применения математического аппарата для решения диагностических задач в медицине. Проанализированы сравнительные характеристики и обоснованы возможности использования нечётко-логических моделей как инструмента диагностики РПЖ. Приведён пример использования матричного агрегатного вычислителя (МAB) применительно к диагностике ранних стадий рака предстательной железы (РПЖ).

Ключевые слова: нечёткая логика, нечётко-логические системы и модели, матричный агрегатный вычислитель (МAB), онкология, рак предстательной железы.

UDC 004

Abdoulava Z.I., Kurbanbaeva D.F., Topuzov M.E. *Model of the aggregate matrix calculator for the analysis of empirical data in the intelligent medical systems (North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russia)*

Abstract. This article is about mathematical tools for diagnostic problems in medicine. Basis on analyzed characteristics fuzzy computing we proved the possibility of using fuzzy-logic models for the diagnosis of prostate cancer. In the article shows an example of the aggregate matrix calculator (MAC) for the diagnosis of early stages of prostate cancer.

Keywords: fuzzy logic, fuzzy rule-based systems and models, matrix aggregate calculator (MAC), oncology, prostate cancer.

ВВЕДЕНИЕ

В современной медицинской практике значительную роль играют экспертные суждения и знания, на основе которых врач осуществляет дифференцирование симптомов болезней и постановку диагноза пациенту. В поддержку сложного интеллектуального процесса для практической медицины предлагается широкий круг автоматизированных систем – систем поддержки



принятия решений, которые различаются надежностью и качеством используемых математических моделей. С учетом того, что построение надежных и качественных математических моделей возможно только при использовании таких же исходных данных, например, количественных характеристик физического состояния пациента, то качество математических моделей зависит от обоснованности аппарата и точности формализации этих данных. Но важной особенностью диагностических задач в медицине является наличие большого числа факторов, оказывающих влияние на формирование и протекание болезни, которые нельзя отнести только к количественным показателям, а во многих случаях и вообще рассматривать как четкие, однозначно интерпретируемые факторы. Поэтому совершенствование систем поддержки принятия решений в медицине предполагает дополнение классического математического аппарата нечетко-логическими моделями. По нашему мнению, именно это позволяет построить надежную математическую модель диагностики, включая в нее как объективные результаты лабораторно-клинических исследований, так и экспертные знания, определяемые компетенциями и профессиональным опытом врача.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ

Главными условиями для расчётов с использованием классических вероятностных методов являются массовость и однородность данных, при нарушении этих условий применение данных; методов в чистом виде накладывает существенные ограничения. На практике, особенно в области медицины, говорить о соблюдении данных условий не приходится, о чём более подробно писалось в [2]. В социальных системах, к которым относятся и медицинские системы, хорошо проявил себя нечётко-логический подход. Использование данного подхода позволяет оперировать с качественными

и количественными данными, прошедшими лингвистическую обработку, но при этом принято говорить уже не о вероятностях, а о возможностях. Возможностные методы (методы с применением нечёткой логики) имеют практическое преимущество перед классическими вероятностными методами. В [3, 4, 21] нами уже были рассмотрены некоторые методы моделирования с применением нечёткой логики (например, матричный агрегатный вычислитель – МАВ) применительно к экономическим и социальным системам, где они уже показали хорошие результаты. Поэтому применение данного метода к медицинским данным стал следующим логическим шагом. Сложность применения любых методов в медицине, в частности в диагностике заболеваний, заключается в наличии ограниченного количества данных, в слабой изученности такой сложной системы, как «человек», в наличии большого числа качественных данных и др. Мало того, использование статистических методов при испытаниях массовой совокупности может быть иррационально, поэтому применение нечётко-логических методов в медицине оправдано и ведётся уже более 20 лет, постоянно развиваясь и совершенствуясь. Например, из последних работ в данном направлении можно выделить [8, 9, 11–18, 22], где нечётко-логический аппарат успешно используется в диагностике как в России, так и за рубежом. А в работе [19] зарубежными коллегами проведён сравнительный анализ преимущества нечетко-логических моделей как средства дополнительного обоснования диагноза в сравнении с традиционными методами – логистической регрессией и вероятностными методами, а также с моделями, построенными на нейронных сетях.

Цель данного исследования состоит в том, чтобы проанализировать поведение нечётко-логической модели матричного агрегатного вычислителя (МАВ) для ранней диагностики рака предстательной железы. При





этом показатели, которые используются для постановки данного диагноза, существенно ограничены, являются эмпирическими. Даже те измерения, которые носят количественный характер, являются динамически изменяющимися и не имеют чётких границ. Самым значимым показателем на сегодняшний день является ПСА-скрининг (выявление в крови маркера простатического специфического антигена), но и он ещё в 2012 году получил отрицательную рекомендацию USPSTF [19]. Это обусловлено малой изученностью заболевания РПЖ, как, впрочем, и всей линейки онкологических заболеваний. Тем не менее применение ПСА повышает шансы обнаружения РПЖ на 25% [7], что позволило снизить смертность от РПЖ на 12% [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Онкология – одно из критических направлений медицины. Так, по данным ВОЗ по смертности она занимает второе место в мире (22%) после сердечно-сосудистых заболеваний (46%). Смертность от онкологических заболеваний составляет 15% от всех случаев смертности в мире (порядка 8,6 тысяч человек в год) и продолжает расти. По данным ВОЗ на ближайшие 20 лет прогнозируется рост смертности до 20% (порядка 10,32 тыс. человек в год). Класс онкологических заболеваний довольно таки разнообразен и насчитывает около 200 разновидностей, и каждая из этих разновидностей имеет свои симптомы, методы диагностики, профилактики и лечения. Статистические данные показывают, что лидирующими онкологическими заболеваниями (по количеству зарегистрированных болезней) на сегодняшний день являются: 1) рак груди; 2) опухоли бронхов, трахеи или легких; 3) желудочные новообразования; 4) рак предстательной железы; 5) рак прямой кишки; 6) рак крови и лимфоузлов; 7) маточные опухоли; 8) новообразования в почках; 9) опухоли поджелудочной железы;

10) цервикальный рак. Таким образом, РПЖ входит в десятку наиболее распространённых заболеваний, а если брать разделение по половому признаку, то среди распространённости у мужчин РПЖ находится на втором месте после рака лёгких. В общей структуре онкозаболеваний динамика заболеваемости раком предстательной железы является положительной и опережает другие виды онкологий. Так, с 2000 по 2016 год количество больных увеличилось в 2 раза.

Таким образом, выявляется актуальность выбранной темы.

Попытки применить нечётко-логический аппарат в интеллектуальных медицинских системах поддержки принятия решений при лечении и прогнозировании развития РПЖ успешно проводились в европейских странах [17], однако ранняя диагностика данного заболевания пока остаётся сложной и требует совершенствования. Предлагаемые за рубежом и в России методы, например [8, 9], проявляют себя при диагностике других заболеваний, где присутствует большое количество необходимых симптомов и показателей, но они не могут быть использованы для первичного диагностирования РПЖ, так как при этом диагностировании количество входных показателей значительно ограничено, а те факторы, которые удаётся выявить обладают высокой имплицитностью симптомокомплекса.

Первичное диагностирование РПЖ осуществляется с помощью ряда медицинских методов, имеющих свои преимущества и недостатки, таких как: пальцевое ректальное исследование (ПРИ), ТРУЗИ, анализ крови на ПСА, МРТ.

В целях ранней диагностики больных с возможным наличием рака предстательной железы используют следующие стандартные виды диагностики: пальцевое ректальное обследование, трансректальное ультразвуковое обследование предстательной железы, анализ крови на ПСА общий и свободный,



соотношение общего и свободного ПСА, время удвоения ПСА. Данные методы диагностики входят в стандарт обследования и выполняются каждому пациенту с подозрением на наличие рака предстательной железы (также рекомендованы всем мужчинам по достижению 50 лет). К дополнительному рекомендованному методу серологической диагностики относится анализ на проПСА (P2PSA), который не может быть использован в качестве основного; его применение рекомендовано только в дополнение к стандартным методам диагностики.

Все эти исследования могут показать наличие отклонений в функции ПЖ, однако в медицинской практике верификация диагноза РПЖ возможна только по результатам биопсии предстательной железы (ПЖ). А все другие методы исследования оказываются недоказательными. Например, чувствительность ПСА-скрининга не покрывает 30% случаев РПЖ, а предсказательная ценность составляет всего лишь 25%, что приводит к 75% ложноположительных результатов и, как следствие, такому же количеству излишних биопсий [6]. Биопсия

ПЖ – болезненная инвазивная процедура, при проведении которой на гистологический анализ берётся ткань железы (используется от 6 до 24 игл). Известно, что при показателях ПСА от 3 до 10 нг/мл (серая зона ПСА) выполняется порядка 40% биопсий с отрицательным результатом [7]. Таким образом, на сегодняшний день как никогда актуальна задача не только по выявлению рака простаты, но и по снижению количества ненужных биопсий ПЖ.

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДИАГНОСТИКИ РПЖ

Сверхзадача построения информационной модели – консолидировать все существенные факты, относимые как к самому пациенту в целом, так и к диагностируемому у него заболеванию (РПЖ). Комплексное же свойство информационной модели диагностики РПЖ представляет собой иерархию факторов произвольной глубины, представленную в виде многоуровневого дерева выявляемых факторов (рис. 1).

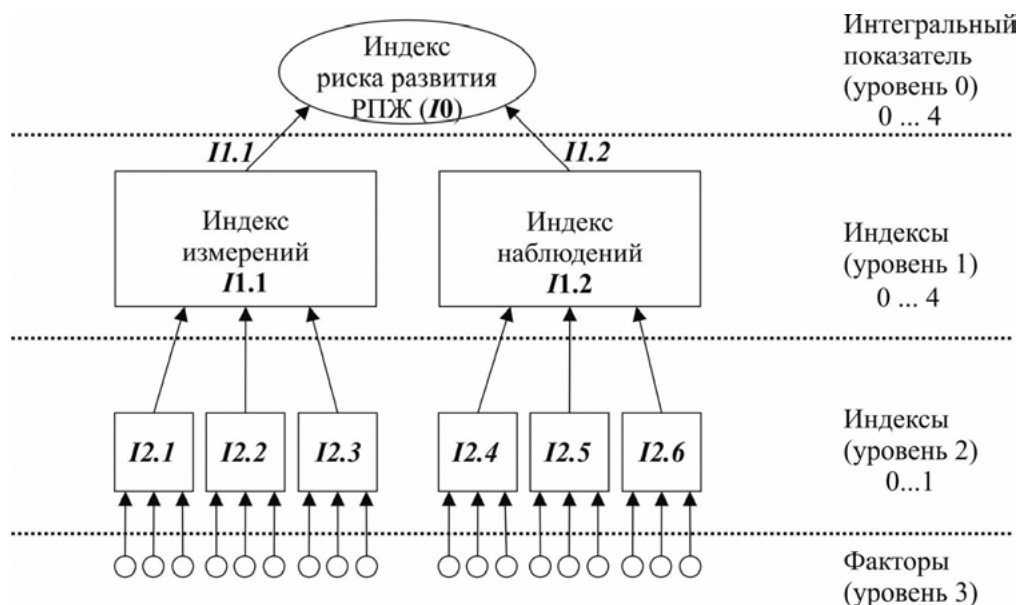


Рис. 1. Многоуровневое дерево показателей информационной модели первичной диагностики РПЖ





Таблица 1

Уровни представления

| Уровень | Название | Индекс | Оценка |
|-----------------------|---|--------------|---|
| 0 Интегральный индекс | Индекс риска развития РПЖ | /0 | от 0 до 4 |
| 1 Классы показателей | Индекс прямых измерений | /1.1 | от 0 до 4 |
| | Индекс наблюдений | /1.2 | от 0 до 4 |
| 2 Блоки факторов | ПСА и его предикторы | /2.1 | от 1 до 10 методом МАВ |
| | Индекс аппаратной диагностики | /2.2 | от 1 до 10 |
| | Индекс ПРИ | /2.3 | от 0 до 1 |
| | Сводный индекс риска | /2.4 | от 0 до 1 по сводной оценке признаков факторов |
| | Сводный психосоматический индекс | /2.5 | от 0 до 1 со слов пациента и по результатам анкетирования |
| | Сводный симптоматический индекс | /2.6 | от 0 до 1 (со слов пациента) |
| 3 Данные | Количественные измерения и признаковые наблюдения | /3.1. – /3.n | в зависимости от фактора |

Нами предлагается структурировать информационную модель по набору из различных показателей, объединённых в 2 группы:

1. «Наблюдения» – группа показателей, полученных в результате наблюдений, куда входят данные собранного анамнеза и результаты ПРИ.

2. «Измерения» – группа показателей, полученных в результате проведения различных анализов и обследований.

Каждая из этих групп имеет подгруппы; причём подгруппы, входящие в класс «Измерения», являются более значимыми по отношению к группе «Наблюдения», а показатели группы «Наблюдения» являются первичными и обнаруживаются при первом посещении врача. Таким образом, все выявленные факторы можно представить в виде иерархического дерева (рис. 1).

Показанную на рисунке иерархию факторов можно разделить по следующим уровням представления (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что базовый уровень – это уровень 3. Именно в нём содержатся те немногочисленные данные, которые собираются на основе анамнеза, анализов

и обследований. На сегодняшний день таких факторов найдено порядка 30, из них 20 носят чисто описательный характер. Также по данным таблицы необходимо отметить отсутствие прямой связи между перечисленными факторами, что, впрочем, не отвергает их коррелированности. Однако использование методов классического анализа в данном случае затрудняется разнородностью характеристик факторов и их принадлежностью к разным измерительным шкалам (порядковые/номинальные или количественные/качественные). Разношкальные факторы с разным весом и уровнем принадлежности к тому или иному медицинскому диагнозу с большим трудом укладываются в единую модель заболевания. Здесь же следует отметить, что в норме организм человека выполняет функцию саморегулирования процессов, а при нарушении работы отдельных органов (проявлении болезни) происходит нарушение саморегуляции, выражающееся в дисбалансе показателей состояния здоровья. Развитие данного дисбаланса целесообразно отслеживать на модели, выделяя последовательные фазы развития заболевания



и классифицируя их с применением нечётко-логических подходов. Использование этих подходов становится хорошим подспорьем при описании текущего состояния здоровья пациента, первым шагом в вопросе выявления значимых факторов ранней диагностики заболевания и соответствующих методов профилактики и лечения.

ПРИМЕР РАБОТЫ МАТРИЧНОГО АГРЕГАТНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ

Рассмотрим работу матричного агрегатного вычислителя. На вход МАВ поступают полученные путём сбора анамнеза, анализов и других видов исследования факторы, которые ранжируются по убыванию предпочтения, с присвоением им весов по схеме Фишберна [10], где предпочтение выражается в убывании на единицу числителя рациональной дроби весового коэффициента более слабой альтернативы:

$$P_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}, j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где: P_j – количественная оценка степени предпочтения; n – число рассматриваемых факторов; j – ранг, для которого определяется степень предпочтения.

Следующим шагом будет фазификация факторов и настройка системы узловых точек. При лингвистическом распознавании факторам присваиваются качественные градации по стандартной пятиуровневой системе, например: «Очень низкий» – (ОН), «Низкий» – (Н), «Средний» – (Ср), «Высокий» – (В) и «Очень высокий» – (ОВ). Затем на основе «мягкого» нормирования определяются функции принадлежности (рис. 2).

На рис. 2 представлена трапециевидальная функция принадлежности, которая в общем виде имеет формулу:

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (2)$$

Представленные на рис. 2 функции обладают свойством «серой шкалы» Пospelова [5], в которой переход от свойства к свойству происходит плавно. Шкала Пospelова является наиболее распространённым вариантом использования трапециевидных нечетких чисел для лингвистической классификации, так как обладает оптимальным сочетанием простоты и содержательности. В действующей модели не все функции могут быть представлены в виде такой шкалы, но она подходит

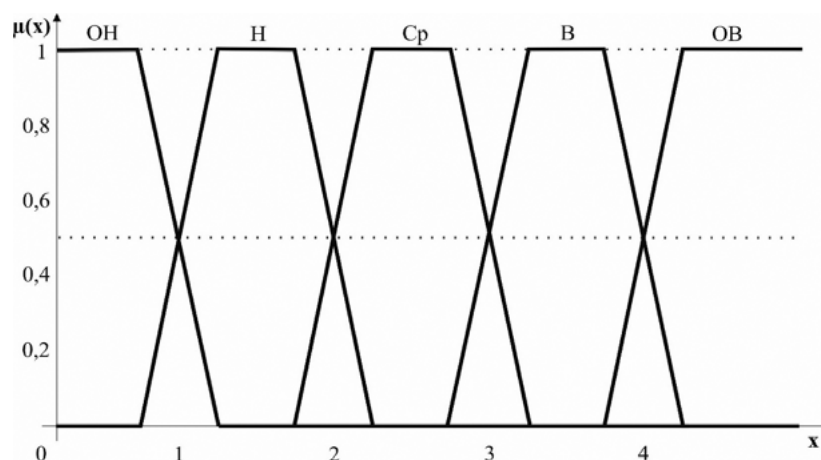


Рис. 2. Трапециевидальные функции принадлежности





Таблица 2

Пример работы фазификатора

| Входное значение | ОН | Н | Ср | В | ОВ |
|------------------|----|---|----|-----|-----|
| 2,5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3,8 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 0,1 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1,5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

для большого числа показателей, поэтому в выбранном примере воспользуемся именно ей. Для краткости рассмотрим работу МАВ на примере только одного показателя по пяти градациям (ОН, Н, Ср, В, ОВ). Основываясь на формуле 1 и графиках функций принадлежности, восстановим уравнения трапеций:

$$ОН = \begin{cases} 1; x < 0,75 \\ -2x + 2,5; x = [0,75, 1,25] \\ 0; x > 1,25 \end{cases}$$

$$Н = \begin{cases} 0; x < 0,75 \\ 2x - 1,5; x = [0,75, 1,25] \\ 1; x = [1,25, 1,75] \\ -2x + 4,5; x = [1,75, 2,25] \\ 0; x > 2,25 \end{cases}$$

$$Ср = \begin{cases} 0; x < 1,75 \\ 2x - 3,5; x = [1,75, 2,25] \\ 1; x = [2,25, 2,75] \\ -2x + 6,5; x = [2,75, 3,25] \\ 0; x > 3,25 \end{cases}$$

$$В = \begin{cases} 0; x < 2,75 \\ 2x - 5,5; x = [2,75, 3,25] \\ 1; x = [3,25, 3,75] \\ -2x + 8,5; x = [3,75, 4,25] \\ 0; x < 4,5 \end{cases}$$

$$ОВ = \begin{cases} 0; x < 3,75 \\ 2x - 7,5; x = [3,75, 4,25] \\ 1; x > 4,5 \end{cases}$$

Для наглядности результат фазификации можно представить в виде таблицы 2.

При разных значениях входной переменной распознаётся соответственная качественная градация. В общей модели для каждого показателя строятся свои собственные функции принадлежности, по которым происходит

лингвистическое распознавание. После этого мы уже можем переходить к структурированию матрицы, где по строкам находятся факторы со своими весами $\{p_i\}$, по столбцам находятся качественные градации уровней факторов со своими узловыми точками $\{y_j\}$, на пересечении строки и столбца – уровень принадлежности $\{\mu_{ij}\}$ i -го фактора j -й качественной градации. Для определения выходного индекса I может быть предложена формула матричного перемножения:

$$I = p^T \times \mu \times y^T = \sum_{(i)} p_i \sum_{(j)} \mu_{ij} y_j \quad (3)$$

Когда методы МАВ отработаны по всем ветвям дерева факторов, можно переходить к интегральной оценке. Здесь нами предлагаются следующие формулы:

$$I1.1 = (I2.1 + I2.2 + I2.3) * 4 / 27 - 4/9; \quad (4)$$

здесь входные шкалы 1..10 линейно переводятся в выходную шкалу 0..4;

$$I1.2 = I2.4 + I2.5 + I2.6 + I2.7; \quad (5)$$

а здесь входные шкалы 0..1 линейно переводятся в выходную шкалу 0..4. После чего мы уже вычисляем интегральный фактор риска возникновения РПЖ Ю.

Классификатор для показателя Ю – это равномерная серая шкала Пospелова [5], определённая на носителе $[0, 4]$ как система из пяти трапециевидных нечётких чисел с системой узловых точек $y = \{0,4; 1,2; 2,0; 2,8; 3,2\}$.

Дробное значение фактора Ю выражает степень неопределённости, которая неотменно присутствует при распознавании РПЖ.



Например, значение $I0 = 1,5$ говорит о том, что врач не в состоянии точно поставить диагноз, и для более точного определения необходимо проводить дополнительные исследования.

Калибровка построенной информационной модели осуществляется на основе её «обкатки» на историях болезни реальных пациентов (требуется накопленная статистика на уровне нескольких сотен историй болезни). Таким образом, диагностическая система проходит обучение (полная аналогия с нейронными сетями). Сводя зафиксированные в истории болезни измерения/наблюдения и диагностируемые стадии РПЖ, необходимо оптимизировать систему весов $\{p\}$ факторов модели таким образом, чтобы расхождение между диагностикой стадии РПЖ в историях болезни, выполненной опытными врачами, и оценкой $I0$ по модели было бы минимальным. Для многомерной оптимизации в непрерывном поле значений $\{p\}$ уместно использовать традиционные градиентные методы, причём начальной точкой оптимизации является система равных весов, которая незримо участвует в формулах (4) и (5).

ВЫВОДЫ

Основываясь на приведённых данных можно утверждать, что для диагностики РПЖ целесообразно применение именно нечётко-логического аппарата в связи с высокой

имплицитностью симптокомплекса. Более надежное принятие решения в онкологическом прогнозе может помочь в ранней диагностике РПЖ. Мы зафиксировали стартовое представление о путях формирования информационной модели критического заболевания на примере рака предстательной железы. Под критическими заболеваниями в статье понимаются такие болезни, когда ущерб наносимый методами лечения заболевания сопоставим с ущербом от самой болезни, и не существует щадящих методов лечения [1]. Данная модель соответствует текущему состоянию исследований по заявленному профилю. Аналогичную работу можно провести по другим критическим заболеваниям (иные разновидности рака, сердечно-сосудистые заболевания и др.). Агрегирование факторов в системе иерархии показателей в основном проводится методом МАВ, но есть и другие разновидности агрегирования.

В настоящее время данные исследования рассмотрены на малой выборке (порядка 200 историй болезней) пациентов для обоснования возможности диагностирования РПЖ с помощью МАВ. Однако для обеспечения репрезентативности результатов планируется расширить выборочные данные и провести калибровку построенной информационной модели на основе большего количества обезличенных статистических данных.

ЛИТЕРАТУРА



1. Абдулаева З.И. Информационная модель для диагностики критических заболеваний / З.И. Абдулаева НоваИнфо – NovalInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 64; URL: <http://novainfo.ru/article/12724>.
2. Абдулаева З.И. Применение нечётких множеств и мягких вычислений в медицинской статистике / З.И. Абдулаева НоваИнфо – NovalInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 51; URL: <http://novainfo.ru/article/7714>.
3. Абдулаева З.И. Разработка методов управления рисками инновационной деятельности / Дисс. на соискание уч. ст. канд. экон. наук. – СПб, Санкт-Петербургский университет управления и экономики, 2013. – 200 с. – Также на сайте: http://zina.ifel.ru/docs/Diss_AZ.pdf.
4. Недосекин А.О., Абдулаева З.И. Комплексная матричная модель организации, функционирующей в условиях информационных угроз // Информация и Космос. – 2015. – № 1. – С. 32–37.





- 5.** *Поспелов Д.А.* «Серые» и/или «чёрно-белые» / Д.А. Поспелов // Прикладная эргономика специальный выпуск «Рефлективные процессы». – 1994. – № 1. – С. 29–33.
- 6.** *Ружанская А.В., Евгина С.А., Скибо И.И.* Практическое использование маркера 2ПРОПСА и индекса здоровья простаты РН1 в диагностике рака предстательной железы / А.В. Ружанская, С.А. Евгина, И.И. Скибо // Клиническая лабораторная диагностика. 2014 г. – № 1. – С. 4–8.
- 7.** *Топузов М.Э.* Пути оптимизации ранней диагностики рака предстательной железы. – Дисс. на соиск. уч. ст. доктора медицинских наук / М.Э. Топузов. – СПб.: СЗГМА им. И.И. Мечникова, 2008. – 241 с.
- 8.** *Корнеевский Н.А., Снопков В.Н., Бурмака А.А., Рябкова Е.Б.* Проектирование медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе нечётких информационных технологий / Н.А. Корнеевский, В.Н. Снопков, А.А. Бурмака, Е.Б. Рябкова // Врач и информационные технологии. – 2013 г. – № 6. – С. 49–54.
- 9.** *Иванов А.В., Мишустин В.Н., Лазурина Л.П., Серебровский В.И.* Нечёткие математические модели системы поддержки принятия решений для решения задач прогнозирования острого панкреатита / А.В. Иванов, В.Н. Мишустин, Л.П. Лазурина, В.И. Серебровский // Врач и информационные технологии. – 2013. – № 6. – С. 60–66.
- 10.** *Фишберн П.С.* Теория полезности для принятия решений / П.С. Фишберн. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
- 11.** *Amirkhani A., Papageorgiou E.I., Mohseni A., Mosavi M.R.* A review of fuzzy cognitive maps in medicine: Taxonomy, methods, and applications (Review) // Computer Methods and Programs in Biomedicine. Volume 142, 1 April 2017, Pages 129–145.
- 12.** *Keles A., Samet Hasiloglu A., Keles A., Aksoy Y.* Neuro-fuzzy classification of prostate cancer using NEFCLASS-J (Article) // Computers in Biology and Medicine. Volume 37, Issue 11, November 2007, Pages 1617–1628.
- 13.** *Kuo R.-J., Huang M.-H., Cheng W.-C., Lin C.-C., Wu Y.-H.* Application of a two-stage fuzzy neural network to a prostate cancer prognosis system (Article) // Artificial Intelligence in Medicine. Volume 63, Issue 2, 1 February 2015, Pages 119–133.
- 14.** *Naguib R.N.G., Robinson M.C., Apakama I., Neal D.E., Hamdy F.C.* Neural network analysis of prognostic markers in prostate cancer. // (1996) British Journal Of Urology, 77 (1), p. 50. Cited 5 times.
- 15.** *Pota M., Scalco E., Sanguineti G., Farneti A., Cattaneo G.M., Rizzo G., Esposito M.* Early prediction of radiotherapy-induced parotid shrinkage and toxicity based on CT radiomics and fuzzy classification (Article in press) // Artificial Intelligence in Medicine. March 01, 2017.
- 16.** Prostate cancer-specific mortality after radical prostatectomy for patients treated in the prostate-specific antigen era. Stephenson A.J., Kattan M.W., Eastham J.A., Bianco F.J. Jr., Yossepowitch O., Vickers A.J., Klein E.A., Wood D.P., Scardino P.T. J Clin Oncol. 2009; 27(26): 4300–5.
- 17.** *Seker H., Odetayo M.O., Petrovic D., Naguib R.N.G.* A fuzzy logic based-method for prognostic decision making in breast and prostate cancers (Article) // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine Volume 7, Issue 2, June 2003, Pages 114–122.
- 18.** *Singh-Mugica S., Tovar-Corona B., Silva-Ramirez M.A., Jimenez L.-I.G.* An intelligent system to assist the diagnosis of epilepsy disorder in children: A case of study (Conference Paper) // 2016 IEEE Healthcare Innovation Point-of-Care Technologies Conference, HI-POCT 2016. 27 December 2016, Article number 7797717, Pages 142–145.
- 19.** *Torshizi A.D., Zarandi M.H.F., Torshizi G.D., Eghbali K.* A hybrid fuzzy-ontology based intelligent system to determine level of severity and treatment recommendation for benign prostatic hyperplasia (Article) // Computer Methods and Programs in Biomedicine. Volume 113, Issue 1, January 2014, Pages 301–313.
- 20.** USPSTF – United States Preventive Services Task Force «Talking With Your Patients About Screening for Prostate Cancer (02.07.2012)». URL: <https://www.uspreventiveservicestaskforce.org>.
- 21.** *Vinogradov V.V., Abdoulaeva Z.I.* Fuzzy-set economic stability analysis model of mineral complex of the Russian Federation // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016, 7519822, pp. 489–490.
- 22.** *Yilmaz A., An S., Kocabicak U.* Risk analysis of lung cancer and effects of stress level on cancer risk through neuro-fuzzy model (Article) // Computer Methods and Programs in Biomedicine. Volume 137, 1 December 2016, Pages 35–46.