

Харьков Сергей Вячеславович

**Математические модели, метод и алгоритмы
прогнозирования послеоперационных осложнений при
урологических заболеваниях**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете на кафедре биомедицинской инженерии

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки
Российской Федерации
Корневский Николай Алексеевич

Официальные оппоненты: Дегтярев Сергей Викторович
доктор технических наук, профессор,
Юго-Западный государственный
университет, декан факультета
информатики и вычислительной техники

Работкина Ольга Евгеньевна доктор
технических наук, доцент
Воронежский институт государственной
противопожарной службы МЧС России,
профессор кафедры гражданской защиты

Ведущая организация: Воронежский государственный
технический университет (г. Воронеж)

Защита диссертации состоится «02» ноября 2012 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.08 при Юго-Западном государственном университете по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета»

Автореферат разослан «01» октября 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.105.08



Снопков В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших проблем хирургии является адекватная оценка состояния и выбор рациональных схем ведения пациентов в послеоперационный период. Это в полной мере относится к пациентам, страдающим урологическими заболеваниями. Даже после сравнительно безопасных хирургических вмешательств, использующих трансуретральную электрорезекцию, развиваются послеоперационные осложнения. Наиболее серьёзные из них обусловлены развитием инфекционно-воспалительных процессов в послеоперационном периоде. Неблагоприятное состояние пациентов в послеоперационный период может значительно усиливаться сопутствующими заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем, кровопотерей во время операций и т.д.

Одним из путей повышения качества оказания медицинских услуг урологическим больным в послеоперационном периоде является своевременное и точное прогнозирование возможных послеоперационных осложнений у исследуемой категории больных, что позволит назначить эффективные и своевременные способы профилактики и лечения. Однако с математической точки зрения задача прогнозирования послеоперационных осложнений у урологических больных не является тривиальной в виду отсутствия точного, чёткого и однозначного описания взаимосвязи между признаками, характеризующими состояние больного до операции, и возможными классами состояний послеоперационного периода.

Многочисленные исследования в области совершенствования прогнозирования, диагностики профилактики и лечения различных заболеваний, включая исследуемую патологию, показывают, что наилучших результатов удаётся достичь при использовании адекватных математических методов с привлечением современных информационных и интеллектуальных технологий, позволяющих поднять на новый качественный уровень решение задач прогнозирования послеоперационных осложнений больных урологического профиля.

Таким образом, актуальность данного исследования определяется необходимостью улучшения показателей качества прогнозирования послеоперационных осложнений у урологических больных с целью повышения уровня медицинского обслуживания этой категории пациентов.

Работа выполнена в соответствии с Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.», в рамках реализации мероприятия №1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук», в соответствии с Федеральной целевой программой «Предупреждение и борьба с социально-значимыми заболеваниями» 2007-2011 гг. и с научным направлением Юго-Западного государственного университета «Медико-экологические информационные технологии».

Цель работы. Разработка математических моделей, метода и алгоритмов, обеспечивающих повышение качества прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных за счёт

использования современных информационных технологий и адекватного математического аппарата, основывающегося на технологии мягких вычислений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основании анализа существующих методов и средств прогнозирования послеоперационных осложнений сформировать систему информативных признаков и выбрать адекватный математический аппарат исследования для прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных;
- разработать метод синтеза комбинированных нечетких правил прогнозирования послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях;
- разработать способ определения уровня защиты организма;
- получить меридианные модели взаимодействия внутренних органов с поверхностными биологически активными точками, меняющими свои энергетические характеристики в зависимости от наличия и степени тяжести урологических заболеваний и уровня защитных механизмов организма;
- синтезировать комбинированные нечеткие решающие правила прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных;
- разработать алгоритм управления и основные элементы системы поддержки принятия решений по прогнозированию послеоперационных осложнений и формированию рекомендаций по послеоперационному ведению урологических больных;
- оценить эффективность разработанных методов и средств на репрезентативных выборках в клинических условиях.

Объект исследования. Пациенты, нуждающиеся в оперативном лечении урологических заболеваний.

Предмет исследования. Метод, модели и алгоритмы прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных.

Содержание диссертации соответствует п. 1 «Исследование, разработка и создание медицинской техники, изделий, инструментов, методов и способов диагностики и лечения человека, которые рассматриваются как средства восстановления нарушенной поливариантной системы, представление которой возможно математической, физико- и биотехнической, механической моделью, а также энергетической, физико-химической, химической, электрохимической моделью и т.д.» паспорта специальности 05.11.17 - Приборы, системы и изделия медицинского назначения:

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы управления в биотехнических системах, системного анализа, моделирования, теории синтеза сложных информационных систем, теории алгоритмов, теории нечётких множеств, прикладной математической статистики, экспертного оценивания. При разработке диагностической

системы в качестве инструментария использовалась среда Matlab 7.10 (R2010a) со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- набор информативных признаков для прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных, отличающийся тем, что кроме традиционно используемых в медицине показателей в него включены интегральные показатели, характеризующие уровень защитных свойств организма, психоэмоционального напряжения, утомления и энергетического разбаланса меридианных структур организма, что позволило синтезировать высококачественные прогностические правила;

- метод синтеза комбинированных нечетких правил прогнозирования послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях, отличающийся нечеткой агрегацией традиционно используемых в прогнозировании послеоперационных осложнений специфических признаков и интегральных показателей, характеризующих психоэмоциональное напряжение, энергетический разбаланс меридианных структур и уровень защиты организма, позволяющий получать решающие правила для оценки степени риска послеоперационных осложнений с требуемой для медицинской практики точностью;

- способ комплексной оценки уровня защиты организма, отличающийся использованием решающих правил, в которых группируются функции принадлежности с базовыми переменными, определяемыми на шкалах уровня адаптационного потенциала, энергетического разбаланса соответствующих меридианных структур и уровня функционального резерва, позволяющий получать количественные характеристики уровня защитных свойств организма с приемлемым для медицинской практики качеством;

- модели взаимодействия внутренних органов и систем организма с меридианными биологически активными точками, меняющими свои электрические характеристики при урологических заболеваниях и изменениях уровня защитных механизмов организма, анализ которых позволяет уточнять послеоперационное состояние пациентов и планировать различные схемы рефлексотерапии;

- математические модели прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных, отличающиеся использованием нечетких решающих правил, агрегирующих различные данные, характеризующие функционирование организма на различных его уровнях, составившие основу построения базы знаний системы поддержки принятия решений врача-уролога, обеспечивающей рациональное ведение урологических больных после оперативных вмешательств;

- алгоритм управления и основные элементы системы поддержки принятия решений по прогнозированию послеоперационных осложнений, их профилактике и формированию рекомендаций по послеоперационному ведению урологических больных в условиях неполного и нечеткого

представления данных, обеспечивающие повышение качества оказания медицинской помощи исследуемой категории больных.

Практическая значимость работы. Разработанные метод, модели, алгоритмы и соответствующее программное обеспечение составили основу построения системы поддержки принятия решений врача-уролога, опытная эксплуатация элементов которой позволяет рекомендовать её к использованию при планировании операций и послеоперационному ведению урологических больных.

Основные теоретические и практические результаты работы используются в клинической практике муниципального учреждения здравоохранения клинической больницы скорой медицинской помощи г. Курска и в учебном процессе Юго-Западного государственного университета при подготовке специалистов 200402.65 «Инженерное дело в медико-биологической практике» (дисциплина «Автоматизация обработки экспериментальных данных»), что подтверждено соответствующими актами.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях: XIV и XV Международных научно-технических конференциях «Медико-экологические информационные технологии» (Курск, 2011, 2012); X Международной научно-технической конференции «физика и радиотехника в медицине и экологии» (Владимир-Суздаль, 2012); на XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Биомедсистемы - 2011) (Рязань, 2012); XIX Международной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии - 2011» (Новороссийск, 2011); V Всероссийских научно-технических конференциях «Информационные и управленческие технологии в медицине и экологии» (Пенза, 2011); на III Международной конференции «Молодежь и XXI век» (Курск, 2011); на Второй Международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии – 2011» (Белгород, 2011); на Международной практической конференции «Интегративные процессы в науке» (Москва, 2011); на Международной практической конференции «Информационные проекты в медицинской и педагогической практике» (Курск, 2010); научно-технических семинарах кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ (Курск, 2010, 2011, 2012 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 4 работы в рецензируемых научных журналах.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту результаты получены лично автором. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, соискателем лично разработаны в [1, 8, 13, 14, 17, 18] модели и алгоритмы прогнозирования послеоперационных осложнений у урологических больных; в [2, 3, 7, 16] – модели оценки интегральных показателей здоровья на основе разнотипных исходных данных; в [4, 9] – нечеткие нейронные сети для оценки состояния здоровья, в [5, 10] –

специализированное программное обеспечение для систем интеллектуальной поддержки врача-специалиста.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 158 наименований, изложена на 171 странице машинописного текста, содержит 54 рисунка, 15 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, выбраны методы исследования, сформулированы задачи исследования, приведены сведения об апробации и внедрении результатов работы.

В первой главе на основе обзора литературы проанализированы современные подходы к решению задач прогнозирования состояния здоровья человека, включая оценки рисков послеоперационных осложнений, показано, что улучшение качества решения выбранного класса задач можно достичь, используя современные информационные технологии и методологию системного анализа, включая нечеткую логику принятия решений. Обоснован выбор соответствующего математического аппарата.

Во второй главе определяется объект, методы и средства исследования, формируется пространство информативных признаков и разрабатывается метод синтеза комбинированных нечетких правил прогнозирования послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях, предлагается способ определения уровня защиты организма при оперативных вмешательствах.

Учитывая актуальность задач повышения качества прогнозирования послеоперационных осложнений, в качестве объектов исследования, были выбраны пациенты с доброкачественной гиперплазией предстательной железы и пиелонефритом, по которым было принято решение о проведении операционного вмешательства.

С целью выбора адекватного математического аппарата исследований с использованием методов разведочного анализа изучалась структура признакового пространства по двум классам: послеоперационные осложнения наступают за время наблюдения T_0 (класс ω_1); послеоперационные осложнения не наблюдаются (класс ω_0) в системе признаков, определяемых до операции по данным опроса, осмотра и лабораторных исследований.

В ходе проведенных исследований было установлено, что между классами ω_0 и ω_1 не существует четко определяемой границы, а исходные признаки не всегда удается получить в заданное время до проведения операционного вмешательства. Кроме того, некоторые из признаков получают с большой долей субъективизма (данные опросов и осмотров).

В этих условиях в качестве основного математического аппарата исследования была выбрана нечеткая логика принятия решений в ее

модификации применительно к задачам классификации, к которым может быть отнесена и задача, решаемая в данном диссертационном исследовании. С формальной точки зрения для решения исследуемых в работе задач необходимо построить нечеткое решающее правило для распознавания двух классов состояний пациентов ω_0 и ω_1 . В отличие от традиционной нечеткой логики принятия решений по Л. Заде, базирующейся на понятиях и законах нечетких множеств, в работе используется понятие функций принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$ к исследуемым классам состояний ω_ℓ ($\ell = 1, 2$), которые представляют собой «непрерывные» области многомерного пространства признаков x_i , аналогично тому, как это реализуется в системах АСПОН-Д (Санкт-Петербург). Построение нечетких решающих правил, «работающих» в многомерном пространстве признаков, осуществляется с использованием агрегирующих операций, состав которых выбирается в зависимости от структуры используемых данных в соответствии с методом, разработанным на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета.

В ходе специально проведенных исследований было установлено, что для получения достаточного для практической медицины качества прогнозирования в список используемых информативных признаков следует включить данные, традиционно используемые в медицинской практике (набор предикатов x_i), в состав которых входят: анализ крови, мочи, показатели характеризующие иммунный статус, и т.д.; показатели характеризующие уровень психоэмоционального напряжения (ПЭН)-УН; уровень хронического утомления (УХУ)-УУ; уровень защиты организма от оперативных вмешательств UZ; энергетическая сбалансированность (ЭС) меридианных структур организма, «связанных» с урологическими заболеваниями.

Для решения задачи получения нечетких правил прогнозирования послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях в работе **предложен метод синтеза комбинированных нечетких правил**, реализуемый в соответствии со следующей последовательностью действий.

1. Для заданного типа операции, оперируемого органа и класса заболеваний (задача ω_ℓ ($\ell = 1, \dots, L$)) с участием квалифицированной группы экспертов формируется список специфических признаков, традиционно принятых в медицинской практике, из которого, используя известные статистические критерии (например, оценку информативности по Кульбаку), выделяется группа информативных признаков x_i , каждый из которых рассматривается как фактор риска, повышающий уверенность в оценке прогноза возникновения послеоперационных осложнений. Далее, используя рекомендации по выбору вида и параметров функций принадлежности, разработанные на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета (БМИ ЮЗГУ), эксперты по методу Делфи строят графики функций принадлежности $\mu_\ell(x_i)$ к классу

«риск послеоперационных осложнений по задаче ℓ », которые группируются в частное решающее правило вида:

$$TF_{\ell}(i+1)=TF_{\ell}(i)+\mu_{\ell}(x_{i+1})[1-TF_{\ell}(i)], \quad (1)$$

где TF_{ℓ} – риск послеоперационных осложнений для задачи с номером ℓ ; $TF_{\ell}(1) = \mu_{\ell}(x_1)$; $\mu_{\ell}(x_{i+1})$ – функция принадлежности, определяющая риск послеоперационных осложнений по признаку x_{i+1} для группы признаков, являющихся традиционными (специфическими) для медицинской практики.

2. Выбираются сопутствующие заболевания, которые увеличивают риск послеоперационных осложнений, и для них, аналогично пункту 1 формируется список специфических признаков x_q , по которым строятся функции принадлежности к классам сопутствующих заболеваний ω_c с базовыми переменными x_q . Для каждого из выбранных классов c ($c=1, \dots, C$) получают систему частных нечетких решающих правил вида:

$$TF_c(q+1)=TF_c(q)+\mu_c(x_{q+1})[1-TF_c(q)]. \quad (2)$$

Знание TF_c позволит рационализировать схемы реабилитационных, предупредительных или лечебных мероприятий.

3. Полученные математические модели для оценки степени риска послеоперационных осложнений по основному RO_{ℓ} и сопутствующим FO_c заболеваниям уточняются путем введения составляющих оценки уровня длительного психоэмоционального напряжения YH_{ℓ} и хронического утомления YU_{ℓ} :

$$RO_{\ell}=TF_{\ell}+YH_{\ell}+YU_{\ell}-TF_{\ell}YH_{\ell}-TF_{\ell}YU_{\ell}-YH_{\ell}YU_{\ell}+TF_{\ell}YH_{\ell}YU_{\ell}; \quad (3)$$

$$FO_c=TF_c+YH_{\ell c}+YU_{\ell c}-TF_cYH_{\ell c}-TF_cYU_{\ell c}-YH_{\ell c}YU_{\ell c}+TF_cYH_{\ell c}YU_{\ell c}, \quad (4)$$

где $YH_{\ell c}$ и $YU_{\ell c}$ – вклад составляющих уровня психоэмоционального напряжения в риск обострения сопутствующих патологий ω_c при условии выполнения оперативного вмешательства по классу урологического заболевания ω_{ℓ} ,

$$YH_{\ell}=F_{H\ell}[\mu_{\omega_{\ell}}(CT), \mu_{\omega_{\ell}}(B), \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_j)];$$

$\mu_{\omega_{\ell}}(CT), \mu_{\omega_{\ell}}(B), \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_j)$ – функции принадлежности к прогнозируемым осложнениям по задаче ℓ с базовыми переменными, определяемыми по показателям субъективного тестирования (СТ-тесты Спилбергера-Ханина), внимания (В-переключаемость, концентрированность, устойчивость); отклонения электрического сопротивления биологически активных точек (БАТ) меридианных структур, «связанных» с психоэмоциональной сферой от своих номинальных значений – δR_j ;

$$YU_{\ell}=F_{U\ell}[\mu_{\omega_{\ell}}(CT^*), \mu_{\omega_{\ell}}(B^*), \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_j^*)], \quad (5)$$

где CT^* , B^* , δR_j^* – базовые переменные по показаниям субъективного тестирования (по А. Леоновой), внимания и относительных отклонений сопротивлений БАТ от своих номинальных значений для предикторов, характеризующих хроническое утомление.

4. С использованием атласов меридиан выбираются списки биологически активных точек, «связанных» с основными и сопутствующими заболеваниями. Используя методику синтеза комбинированных нечетких

правил принятия решений по электрическим характеристикам БАТ, разработанную на кафедре БМИ ЮЗГУ, получаем частные решающие правила типа:

ЕСЛИ $(\forall \delta R_r \in \text{ДЗТ}_{\omega_s} \geq \delta R_s^{\text{П}})$ ТО $\{BR_{\ell}(j+1) = BR_{\ell}(j) + \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_{j+1}) [1 - BR_{\ell}(j)]\}$ ИНАЧЕ $(BR_{\ell} = 0)$;

где \forall - квантор общности (для всех); δR_r - относительное отклонение сопротивлений БАТ с номером r от своих номинальных значений из списка диагностически значимых точек (ДЗТ); ДЗТ_{ω_s} - список диагностически значимых точек по классу заболевания ω_s ; $\delta R_s^{\text{П}}$ - пороговое значение сопротивления, превышение которого свидетельствует о патологическом энергетическом разбалансе исследуемой точки по заболеванию ω_s ; $BR_{\ell}(1) = \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_1)$; j - номер информативной БАТ.

5. С учетом информативных БАТ выражения (3) и (4) модифицируются в выражения:

$$RR_{\ell} = RO_{\ell} + \gamma_{\ell} BR_{\ell} (1 - RO_{\ell}), \quad (6)$$

$$FF_c = FO_c + \gamma_c BR_{\ell} (1 - FO_c), \quad (7)$$

где γ_{ℓ} и γ_c - весовые коэффициенты, определяющие «вклад» энергетических характеристик соответствующих БАТ в величины RR_{ℓ} и FF_c .

6. В соответствии с возможностями лечебно-профилактического учреждения или в соответствии со способом, предложенным в диссертационном исследовании, определяется уровень защиты организма UZ_{ℓ} для задачи ℓ и формируется решающее правило вида:

$$RZ_{\ell} = \begin{cases} RR_{\ell} - UZ_{\ell}, & \text{если, } RR_{\ell} > UZ_{\ell}; \\ 0, & \text{если, } RR_{\ell} \leq UZ_{\ell}. \end{cases} \quad (8)$$

7. Если в результате дополнительных статистических исследований или на экспертном уровне выясняется положительное влияние сопутствующих заболеваний ω_c на послеоперационные осложнения, выражение (6) корректируется до модели вида:

$$OR_{\ell} = RR_{\ell} + \theta_{\ell} FF_c (1 - RR_{\ell}),$$

где θ_{ℓ} - весовой коэффициент учитывающий влияние ω_c на RR_{ℓ} .

Описанный метод синтеза комбинированных решающих правил может быть адаптирован практически на все типы операций урологического профиля, однако для каждого типа операций по каждому из урологических заболеваний необходимо получить «свои» функции принадлежности и весовые коэффициенты.

Известно, что вредному воздействию внешних и внутренних факторов препятствуют защитные механизмы человеческого организма, снижая риск возникновения и развития соответствующих заболеваний. Учесть влияние защитных механизмов в классификационных решающих правилах можно, синтезировав решающие правила определения уровня внутренней биологической защиты организма (в дальнейшем уровня защиты) по

заболеванию ω_ℓ . Существует достаточно большое количество способов оценки защитных механизмов организма человека, например, по состоянию иммунной системы, по величине функционального резерва, по адаптационному потенциалу и т.д.

Как показали результаты наших исследований, «хорошей» информативностью с точки зрения определения защитных свойств организма обладают адаптационный потенциал (АП), определяемый через индекс функциональных изменений (ИФИ) по методике Р.М. Баевского, а также энергетическая сбалансированность (ЭС) меридианных структур организма, которая может быть определена по электрическим характеристикам БАТ, «связанных» с общесистемной реакцией организма (E23, E36, RP6, V40, V60 и VB20), и уровень функционального резерва UF_ℓ , определяемый по электрическому сопротивлению точек пособников (в терминологии Г. Лувсана).

Для выбранных показателей уровня защиты разработан **способ определения уровня защиты организма**, реализуемый следующей последовательностью действий.

1. В задачах, для которых эксперты считают, что уровни АП и ЭС отражают различные механизмы деятельности человека и каждый из них вносит свой положительный вклад в защитные функции организма, уровень защиты UZ_{ω_ℓ} определяется выражением:

$$UZ_{\omega_\ell} = f_{\omega_\ell}(АП) + f_{\omega_\ell}(ЭС)[1 - f_{\omega_\ell}(АП)],$$

где $f_{\omega_\ell}(АП) = F_{\ell A}(ЧП, САД, ДАД, В, МТ, Р)$ – функциональная зависимость уровня защиты организма от показателей: АП; ЧП – частота пульса, САД, ДАД – величины систолического и диастолического артериального давления, В – вес; МТ – масса тела, Р – рост; $f_{\omega_\ell}(ЭС) = F_{\ell Э}(\delta R_{oc})$ – формула уровня защиты организма по показателю электрической сбалансированности общесистемных БАТ; δR_{oc} – относительное отклонение сопротивления, общесистемных БАТ от их номинальных значений.

2. В задачах, когда низкий уровень защиты, определяемый по одному из показателей, свидетельствует о низком уровне защитных свойств всего организма, агрегацию целесообразно производить используя нечёткую операцию типа:

$$UZ_{\omega_\ell} = \min [f_{\omega_\ell}(АП), f_{\omega_\ell}(ЭС)].$$

Типовые графики функций уровня защиты (ФУЗ) приведены на рисунках 1 и 2.

3. Для лингвистической переменной «адаптационный потенциал» АП вводится система нечетких переменных со следующими именами: УА – удовлетворительная адаптация; НМ – напряжение механизмов адаптации; НА – неудовлетворительная адаптация; СА – срыв адаптации. Таким образом, лингвистическая переменная с именем АП = «адаптационный потенциал» представляется терм-множеством $T = \{УА, НМ, НА, СА\}$.

По полученной системе правил определяется центр тяжести результирующей формулы принадлежности, то есть $УЗ^*$.

6. По группе показателей АП и ЭС уровень защиты определяется по формуле

$$УЗ_{O\ell} = \frac{1}{2}(УЗ_{\ell} + УЗ^*_{\ell}).$$

7. Поскольку по отношению к $УЗ_{O\ell}$ такой показатель как функциональный резерв для выбранного класса задач ведет себя как мера увеличения доверия по Е. Шортлифу, окончательную формулу для расчета уровня защиты организма от оперативных вмешательств по задаче ω_{ℓ} определяем выражением:

$$УЗ_{\ell} = УЗ_{O\ell} + УF_{\ell} (1 - УЗ_{O\ell}),$$

где $УF_{\ell} = \delta_{\ell} \cdot УF_M$; δ_{ℓ} – весовой коэффициент корректирующий $УF_{\ell}$ по типу заболеваний и виду операций;

$$УF_M(i+1) = УF_M(i) + \alpha_{h+1} \mu_u(Y_{h+1}) [1 - УF_M(i)],$$

где $УF_M(1) = \alpha_1 \mu_u(Y_1)$; $\alpha_h \leq 1$ – коэффициент, определяющий вклад меридиана h в оценку уровня общего функционального резерва (ФР) организма, определяемого по всей меридианной структуре организма;

$$Y_h = \frac{R_{ph}(0)}{R_{ph}(H)},$$

где $R_{ph}(0)$ — сопротивление точки пособника меридиана h , измеренное до нагрузки, $R_{ph}(H)$ — после нагрузки; $\mu_u(Y_h)$ – функция уровня ФР, определяемого по меридиану h .

В третьей главе разрабатываются модели и алгоритмы для интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) по оценке послеоперационных осложнений в урологии.

Одним из основных элементов СППР является база знаний, состоящая из наборов нечетких решающих правил, построенных с помощью метода синтеза, предложенного в главе 2, на функциях принадлежности к двум классам осложнений: осложнения после трансуретальной электрорезекции предстательной железы (класс $\omega_{\ell} = \omega_{опж}$); послеоперационные осложнения при гнойном пиелонефрите (класс $\omega_{\ell} = \omega_{пн}$).

В качестве примеров на рисунке 3 приведены графики функций принадлежности к классу $\omega_{опж}$ с базовой переменной x_4 – антиокислительная активность сыворотки крови в %; и к классу $\omega_{пн}$ с базовой переменной по относительному отклонению электрического сопротивления БАТ V53.

Полученные в работе графики функций принадлежности строились высококвалифицированными экспертами под руководством инженера по знаниям в соответствии с методом Делфи. Все полученные экспертным путем функции принадлежности финальных решающих правил корректировались по критерию минимизации ошибки классификации на контрольных выборках с использованием обучающей программы, разработанной на кафедре БМИ ЮЗГУ.

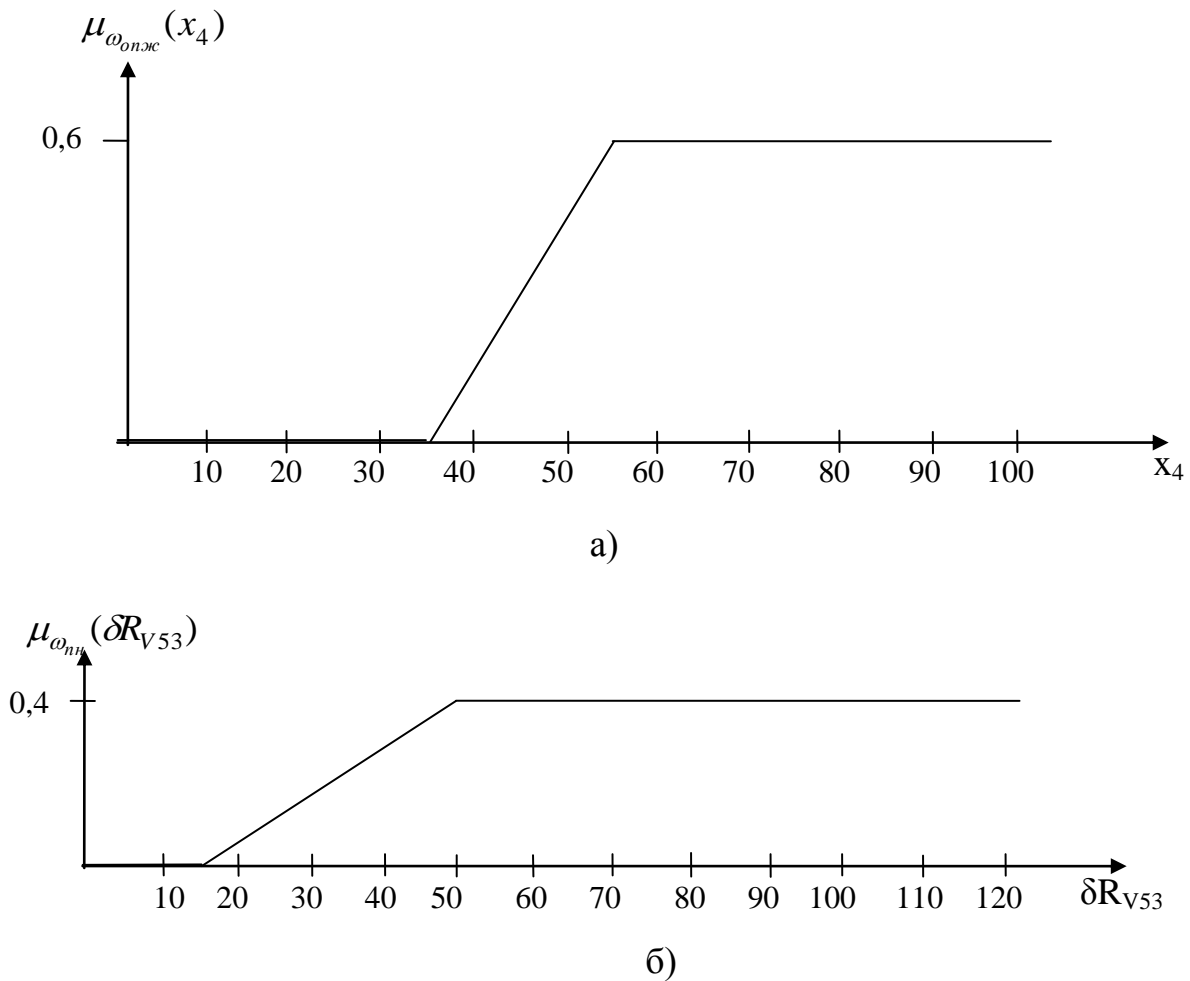


Рис. 3. Графики функций принадлежности к классам $\omega_{опж}$ и $\omega_{пн}$: а) $\omega_{опж}$ с базовой переменной x_4 ; б) $\omega_{пн}$ с базовой переменной δR_{V53}

Результаты математического моделирования полученных комбинированных нечетких решающих правил показали, что для наиболее часто встречающихся в урологической практике значений информативных признаков уверенность в прогнозе обострений составляет 0,9.

С учетом того, что энергетическая реакция меридианных структур организма человека является высокоинформативным показателем по отношению к исследуемым классам состояний, в работе получены **модели взаимодействия внутренних органов и систем организма с меридианными биологически активными точками**, меняющими свои электрические характеристики при урологических заболеваниях и изменениях уровня защитных механизмов организма. Использование этих моделей позволяет составлять биофизически обоснованные схемы рефлексодиагностики, использование которых позволяет уменьшить риск возникновения послеоперационных осложнений и планировать рациональные схемы профилактики и борьбы с этими осложнениями.

Управление элементами базы знаний, взаимодействие блоков программного обеспечения между собой и врачами - урологами осуществляется **алгоритмом управления процессами принятия решений**

по прогнозированию риска послеоперационных осложнений и формированию рекомендаций по рациональному ведению больных с урологическими заболеваниями, требующих оперативного вмешательства. На рисунке 4 представлен фрагмент схемы этого алгоритма.

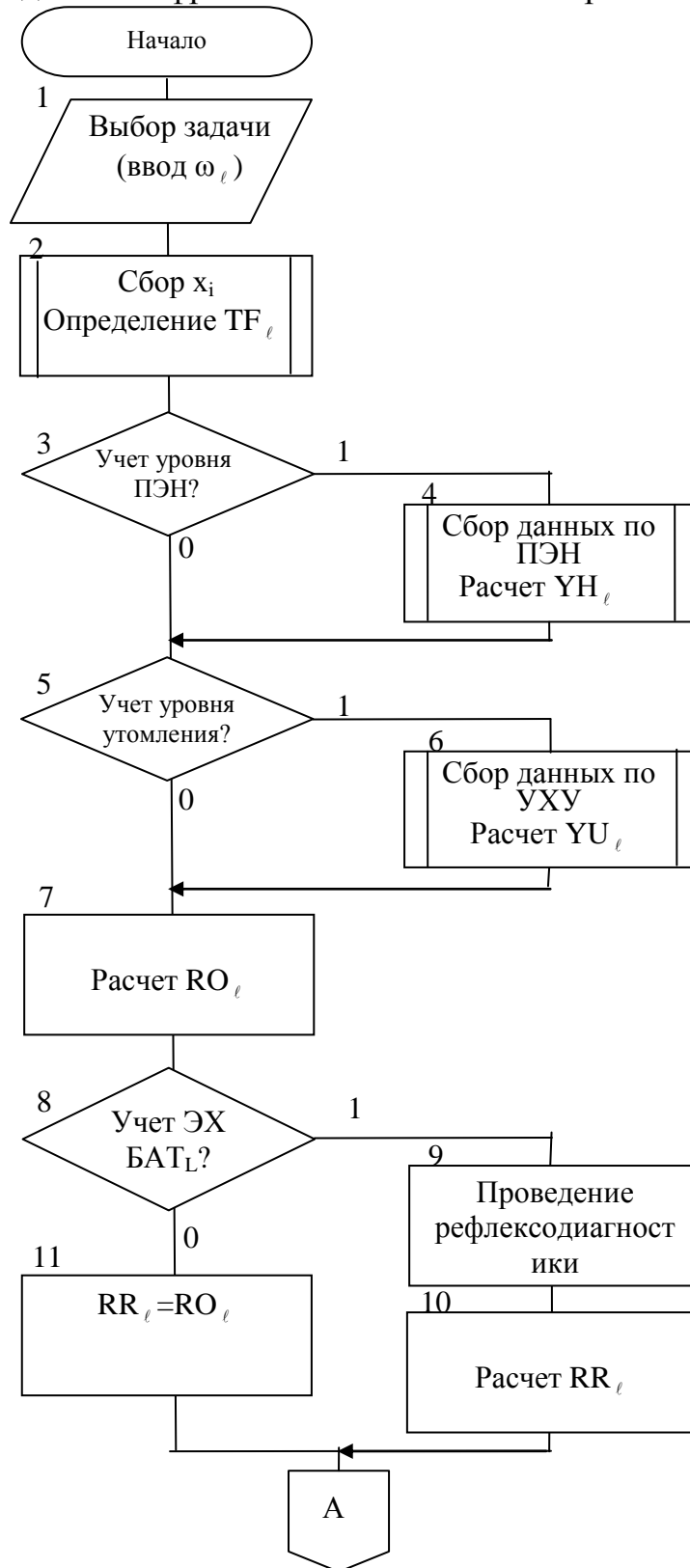


Рис. 4. Фрагмент схемы алгоритма управления для СППР

Весь алгоритм условно разбит на 4 основных блока: блок оценки риска послеоперационных осложнений; блок формирования профилактических рекомендаций; блок оценки результатов профилактики и принятия решений по технологии оперативного вмешательства; блок формирования рекомендаций по послеоперационному ведению больного.

Выход А на рисунке 4 передает управление блокам алгоритма, решающим задачи оценки уровня защиты организма и выбора рациональных схем профилактики и послеоперационного лечения.

В четвертой главе рассматриваются вопросы программной реализации разрабатываемой СППР и результаты экспериментальной проверки полученных решающих правил.

В качестве примера разрабатываемого программного продукта на рисунке 5 показано окно решения системы нечеткого вывода с помощью которого решается задача получения выходных переменных в зависимости от значений входных переменных

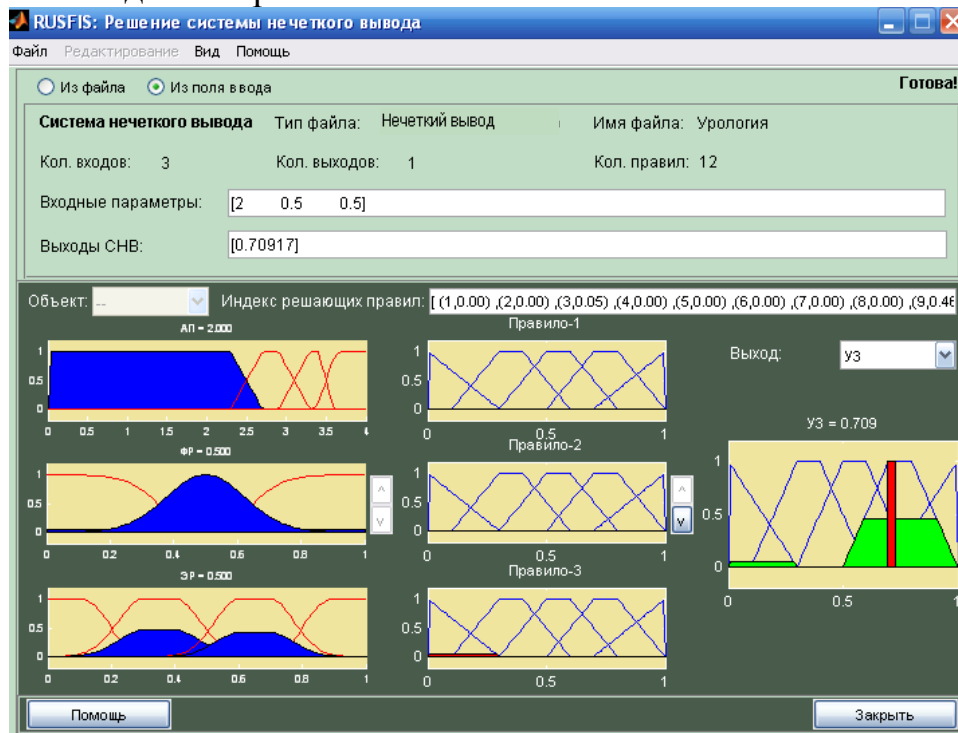


Рис. 5. Графический интерфейс окна решения системы нечеткого вывода

Полученные прогностические решающие правила соответствуют субъективному мнению экспертов в том, какое качество классификации принципиально достигается при выбранной системе информативных признаков. Для объективизации исследований были сформированы репрезентативные контрольные выборки. Объемы выборок определялись в соответствии с рекомендациями, принятыми в теории распознавания образов и составили не менее 100 человек на каждый из исследуемых классов. Качество классификации определяется по таким показателям, как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность

(ДС), прогностическая значимость положительных ПЗ⁺, и отрицательных ПЗ⁻ результатов и диагностическая эффективность (ДЭ).

Численные значения показателей качества прогнозирования с величинами коэффициентов уверенности для максимальных значений соответствующих функций принадлежности $KU_{\omega_\ell}^{\max}$ и для наиболее часто встречающихся факторов риска $KU_{\omega_\ell}^{cp}$, определенных экспертным оцениванием, приведены в таблице.

Таблица 1

Контрольные испытания и экспертные оценки решающих правил

Классы	Показатели качества на контрольной выборке					Экспертная уверенность	
	ДЧ	ДС	ПЗ ⁺	ПЗ ⁻	ДЭ	$KU_{\omega_\ell}^{\max}$	$KU_{\omega_\ell}^{cp}$
$\omega_{оп.ж}$	0,93	0,91	0,93	0,92	0,9	0,97	0,9
$\omega_{пн}$	0,95	0,93	0,93	0,95	0,94	0,98	0,9

Как видно из приведенных расчетов, результаты контрольных испытаний «близки» к ожиданиям экспертов при использовании нечетких решающих правил, и полученные числовые значения имеют достаточные величины для рекомендации полученных решающих правил к практическому использованию.

В заключении сформулированы научные и практические результаты исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основании анализа существующих методов и средств прогнозирования послеоперационных осложнений сформирована система информативных признаков и выбран адекватный математический аппарат исследования для прогнозирования послеоперационных осложнений у урологических больных.

2. Разработан метод синтеза комбинированных нечетких правил прогнозирования послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях, включающий нечеткую агрегацию традиционно используемых в прогнозировании послеоперационных осложнений специфических признаков и интегральные показатели, характеризующие психоэмоциональное напряжение, энергетический разбаланс меридианных структур и уровень защиты организма, позволяющий увеличить показатели надежности прогнозирования риска, по сравнению с традиционно используемой методикой, не менее чем на 10%.

3. Разработан способ комплексной оценки уровня защиты организма, основанный на решающих правилах, построенных на шкалах уровня адаптационного потенциала, энергетического разбаланса соответствующих меридианных структур и уровня функционального резерва, позволяющий

получать количественные характеристики уровня защитных свойств организма с приемлемым для медицинской практики качеством.

4. Получены модели взаимодействия внутренних органов и систем организма с меридианными биологически активными точками, меняющими свои электрические характеристики при урологических заболеваниях и изменениях уровня защитных механизмов организма, анализ которых позволяет уточнять послеоперационное состояние пациентов и планировать различные схемы рефлексотерапии.

5. Разработаны математические модели прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных посредством нечетких решающих правил, агрегирующих различные данные, характеризующие функционирование организма на различных его уровнях, составившие основу построения базы знаний системы поддержки принятия решений врача-уролога, обеспечивающей рациональное ведение урологических больных после оперативных вмешательств.

6. Предложен алгоритм управления и основные элементы системы поддержки принятия решений по прогнозированию и профилактике послеоперационных осложнений у урологических больных, обеспечивающий повышение качества оказания медицинской помощи исследуемой категории больных.

7. Разработано специальное алгоритмическое и программное обеспечение, предназначенное для автоматизированного прогнозирования послеоперационного риска, реализованное в среде Matlab 7.10. Результаты его испытания на репрезентативных контрольных выборках показали, что для решающих правил прогнозирования послеоперационных осложнений и больных с доброкачественной гиперплазией предстательной железы при проведении трансуретральной резекции и при оперативных вмешательствах при гнойном пиелонефрите их прогностическая значимость для финального правила нечеткого вывода не ниже величины 0,90; что позволяет использовать полученные результаты в медицинской практике.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в рецензируемых научных журналах

1. Долженков С.Д., Харьков С.В. Прогнозирование послеоперационных осложнений у урологических / Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. №4. С.36-42.

2. Харьков С.В., Долженков С.Д., Корневская С.Н. Оценка защитных свойств и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т.11. №1. С.44-50.

3. Расчет уверенностей в принимаемых решениях по энергетической реакции меридианных структур /Р.А. Крупчатников, И.А. Ключников, С.В. Харьков и др.//Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. №6 (39). Ч.2. С.62-66.

4. Синтез нечетких решающих правил для прогнозирования и медицинской диагностики на основе данных об энергетическом состоянии акупунктурных точек /Н.А. Кореневский, С.В. Харьков, Е.А. Соглаев и др. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Том 9. №4 С.768-782.

Статьи, труды и материалы конференций

5. Методическое обеспечение экспертной системы врача рефлексотерапевта / Н.А. Кореневский, Л.В. Стародубцева, С.В. Харьков и др.// Информационные проекты в медицинской и педагогической практике: сборник материалов международной практической конференции. Курск.: ЮМЭКС, 2010. С.31-34.

6. Харьков С.В. Прогнозирование послеоперационных осложнений на основе правил нечеткого вывода Е. Шортлифа / «Медико-экологические информационные технологии-2011»: сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции. Курск: Юго-Зап. Гос. ун-т, 2011. С.71-84.

7. Кореневский Н.А., Филист С.А., Харьков С.В. Метод определения защитных свойств организма с использованием нечеткого алгоритма Мамдани-Заде / «Медико-экологические информационные технологии-2011»: сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции. Курск: Юго-Зап. Гос. ун-т, 2011- С.84-92.

8. Харьков С.В. Методы прогнозирования послеоперационных осложнений урологических больных / Информационные и управленческие технологии в медицине и экологии: сб. статей V Всероссийская научно-техническая конференция. Пенза, 2011. С.136-138.

9. Формирования нечетких множеств на шкалах наименований в интеллектуальной системе определения защитных свойств организма /С.В. Харьков, О.В. Шаталова, С.А. Горбатенко и др.// «Лазеры. Измерения. Информация - 2011»: сборник докладов 21-й Международной конференции. Т.3. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С.155-163.

10. Харьков С.В., Зо Зо Тун, Волков И.И., Система нечеткого вывода Мамдани в среде MATLAB / «Компьютерные науки и технологии-2011». Сборник трудов Второй Международной научно-технической конференции. Белгород, 2011. С.382-387.

11. Харьков С.В. Интеграционная оценка состояния здоровья с использованием нечеткого логического вывода / Медицинские приборы и технологии: Международный сборник научных статей. Вып.4. Тула: ТулГУ, 2011. С.255-258.

12. Харьков С.В. Оценка послеоперационного состояния урологических больных на основе нечетких моделей / Медицинские приборы и технологии: Международный сборник научных статей. Вып.4. Тула: ТулГУ, 2011. С.258-260.

13. Прогнозирование послеоперационных осложнений в урологии на основе нечетких математических моделей / С.В. Харьков, А.В. Шашков, С.Д. Долженков и др.//Интегративные процессы в науке: материалы

международной научно-практической конференции, Москва, 2011. С30-33.

14. Нечеткий прогноз возникновения послеоперационных осложнений у урологических больных / С.Д. Долженков, С.В. Харьков, Т.Н. Говорухина и др.// Моделирования и управления процессами в здравоохранении:/ Межвузовский сборник научных трудов. Воронеж: ВГТУ, 2011. С.54-60.

15. Харьков С.В. Нечеткие нейронные сети для интегральной оценки состояния здоровья/ Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы (Биомедсистемы - 2011): сб. матер. XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Ч.2. – Рязань, 2011. С.199-204.

16. Определения уровня защитных механических реакций и их роль в прогнозировании послеоперационных осложнений / С.Д. Долженков, С.В. Харьков, С.Н. Корневская и др.// «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: доклады 10-й межд. научн.-техн. конф. Книга 3. Владимир, 2012. С.255-258.

17. Долженков С.Д., Харьков С.В., Корневская С.Н. Нечеткая оценка послеоперационных осложнений у пациентов с гнойным пиелонефритом / «Медико-экологические информационные технологии-2012»: сборник материалов XV Международной научно-технической конференции Курск: Юго-Зап. Гос. ун-т, 2012. С.65-69.

18. Харьков С.В., Долженков С.Д. Прогноз состояний пациента после трансуретальной резекции предстательной железы / «Медико-экологические информационные технологии-2012»: сборник материалов XV Международной научно-технической конференции. Курск: Юго-Зап. Гос. ун-т, 2012. С.70-76.

Подписано в печать _____. _____. 2012 г. Формат 60×84 1/16.

Печатных листов 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № ____.

Юго-Западный государственный университет,

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Отпечатано в ЮЗГУ