

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ, ДИАГНОСТИКИ И ВЫБОРА ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

К.О. Левенков, Е.Н. Коровин

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

**Аннотация:** представлен процесс проектирования автоматизированной медицинской информационной системы оценки состояния, диагностики и выбора тактики лечения больных с патологией мочеполовой системы на основе статистического, имитационного и нейросетевого моделирования. В качестве входной информации для построения математических моделей оценки состояния и подбора терапии были изучены и выбраны необходимые данные из 150 историй болезни пациентов, страдающих патологиями мочевыделительной системы. Для оценки значимости клинических признаков использовались корреляционный анализ и метод априорного ранжирования мнения экспертов. Оценка состояния пациентов с патологией выделительной системы осуществлялась с помощью построения «дерева решений» и статистического моделирования. Выбор схемы лечения пациентов с хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью осуществлялся с помощью нейросетевых моделей, дискриминантных функций. Проведен кластерный анализ данных по выбору терапии. Представленная в статье сеть Петри позволяет отслеживать состояние процесса диагностики и разрабатывать схемы лечения с помощью имитации. Полученные нейросетевые модели, дискриминантные функции, статистические модели и результаты анализов, сеть Петри, а также модуль цифровой обработки результатов ультразвуковой доплерографии используются в автоматизированной медицинской информационной системе, которая способствует повышению эффективности процессов диагностики и оценки состояния пациентов. Также медицинская информационная система позволяет повысить качество и сократить время выбора схемы лечения пациентов с патологией мочеполовой системы

**Ключевые слова:** нейросетевое моделирование, хронический пиелонефрит, мочекаменная болезнь, дискриминантные функции, сеть Петри, ультразвуковая доплерография, модуль, имитационное моделирование

### Введение

Самыми часто встречающимися и серьезными заболеваниями в урологической практике являются пиелонефрит и мочекаменная болезнь. Пиелонефрит занимает второе место в структуре нозологий среди урологических заболеваний во всех возрастных категориях. Пиелонефрит представляет собой неспецифическое воспалительное заболевание инфекционной природы, которое одновременно или последовательно поражает лоханку почки и почечную паренхиму. Под мочекаменной болезнью понимают патологический процесс, вызванный нарушением обмена веществ, который обусловлен различными эндогенными и экзогенными факторами и отличается образованием камней в мочевыводящих путях и почках.

Согласно данным статистики, пиелонефрит и мочекаменная болезнь составляют до 70 % всей урологической патологии. Диагностика этих патологий осложняется различными формами течения болезни, а также сопутствующими патологиями. В такой ситуации, чтобы поставить точный диагноз, врачу-диагносту необ-

ходимо обработать широкий спектр анамнестической информации и результаты лабораторных и инструментальных исследований. Таким образом, диагност оказывается в ситуации, когда требуется быстрая обработка большого количества информации. Отметим, что при назначении лечения доктору необходимо учитывать состояние пациента, форму заболевания и сопутствующие заболевания.

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что в современных реалиях при ведении больных с диагнозом хронический пиелонефрит и/или мочекаменная болезнь приобретает большое значение использование медицинских информационно-программных подсистем, предназначенных для поддержки принятия решений.

### Постановка задачи

Для повышения эффективности выбора необходимой терапии и оценки состояния пациентов невозможно не обратиться к автоматизации обработки диагностических данных с использованием информационных технологий. Для решения данных медицинских задач необходимо создание компьютерной системы поддержки принятия решений, способной прини-

мать во внимание огромный объем диагностической информации и позволяющей исключить ошибки субъективного характера.

Ключевой целью нашего исследования является проектирование автоматизированной медицинской информационной системы, позволяющей по данным анамнеза, результатам лабораторных и клинических исследований индивидуально и максимально точно давать оценку состоянию пациента, что значительно ускорит процесс диагностики, исключит возможность «врачебной ошибки» при выборе тактики лечения пациента с учетом индивидуальных особенностей.

### Оценка диагностической значимости клинических признаков на основе статистических методов обработки данных

Для оценки значимости клинических признаков больных хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью были применены корреляционный анализ и метод априорного ранжирования мнения экспертов. На базе метода корреляционного анализа рассмотрена зависимость между клиническими показателями и диагнозом. Анализировали следующие клинические показатели:  $X_1$  – уровень гемоглобина в ОАК,  $X_2$  – уровень эритроцитов в ОАК,  $X_3$  – уровень лейкоцитов в ОАК,  $X_4$  – СОЭ в ОАК,  $X_5$  – белок в ОАМ,  $X_6$  – лейкоциты в ОАМ,  $X_7$  – эритроциты в ОАМ,  $X_8$  – уровень глюкозы в биохимическом анализе крови,  $X_9$  – уровень мочевины в биохимическом анализе крови,  $X_{10}$  – уровень креатинина в биохимическом анализе крови,  $X_{11}$  – общий белок в биохимическом анализе крови,  $X_{12}$  – обобщенные результаты УЗИ и КТ диагностики,  $X_{13}$  – размеры камня в мочеточнике,  $X_{14}$  – размеры камня в почке,  $X_{15}$  – результаты посева мочи,  $X_{16}$  – результаты внутривенной урографии. Результаты корреляционного анализа представлены в виде корреляционной матрицы (таблица).

Результаты корреляционного анализа

	$X_3$	$X_5$	$X_6$	$X_{10}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$
$Y$	0,1	0,23	0,16	0,26	0,92	0,61	0,33

По результатам, представленным в таблице, видно, что степень корреляции диагноза достаточно велика с рядом признаков, таких как: уровень лейкоцитов в ОАК, белок в ОАМ, лейкоциты в ОАМ, уровень креатинина в биохимическом анализе крови, камень в почке, резуль-

таты посева мочи, результаты внутривенной урографии. Однако наибольшая корреляция в 0,92 отмечена с признаком «размеры камня в почке».

Для оценки диагностической ценности клинических признаков хронического пиелонефрита и мочекаменной болезни использовался метод априорного ранжирования мнения экспертов. Вниманию специалистов была представлена анкета, в которой требовалось оценить диагностическую ценность клинических признаков пиелонефрита и мочекаменной болезни. Каждой переменной присваивается определенный ранг в результате ранжирования переменных по степени убывания или возрастания. В том случае, когда эксперт не может присвоить всем переменным разные ранги, разрешается нескольким переменным присвоить равнозначные ранги. Если происходит совпадение рангов, матрица приводится к нормальному виду. Для приведения матрицы к нормальному виду переменным, которые имеют равнозначные ранги, присваивается ранг, равный среднему значению мест, которые переменные поделили между собой. На заключительном этапе априорного ранжирования производится оценка согласованности респондентов, которая оценивается путем расчета коэффициента конкордации.

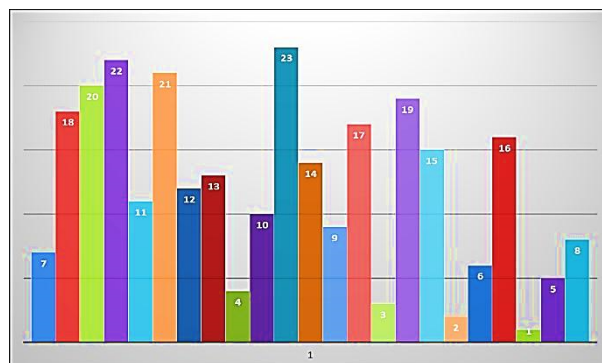


Рис. 1. Гистограмма значимости клинических признаков

На рис. 1 представлена гистограмма значимости клинических признаков хронического пиелонефрита и/или мочекаменной болезни. Таким образом, наиболее значимыми симптомами оказались: наличие камня в почке; конкременты в мочеточнике; высокая степень бактериурии, которая отмечается при посеве мочи; сдвиги лейкоцитарной формулы крови; повышение креатинина; увеличение белка в моче.

С помощью данных статистических методов была сформирована матрица входных данных для дальнейшего построения математиче-

ских моделей по оценке состояния больных и выбору терапии.

### Оценка состояния больных с патологией мочевыделительной системы на основе «дерева решений»

На базе аналитической платформы Deductor Academic разработано дерево принятия решений, которое позволяет проводить оценку состояния пациента, что особенно актуально в первые дни пребывания в стационаре. Для построения дерева был применен алгоритм C4.5, разработанный Р. Куинленом. Идея данного алгоритма заключается в следующем: спроектировать алгоритм, предсказывающий значение целевой переменной на базе определенного количества переменных на входе. Каждый лист дерева и есть значение целевой переменной, измененной при перемещении от корня дерева к листу. Матрица обучающей выборки была составлена после анализа 90 историй болезни пациентов отделения урологии. Больные поступали в стационар с различными патологиями. В нашем случае были выделены пациенты, в диагнозе которых фигурировали хронический пиелонефрит и мочекаменная болезнь. Необходимо заметить, что из 150 пациентов урологического отделения больницы было несколько больных с дополнительными хроническими заболеваниями, такими как сахарный диабет, артериальная гипертензия, аллергия на антибиотики. Также среди обследуемых было 3 беременные пациентки. Все эти дополнительные факторы должны учитываться врачом-диагностом при назначении схемы лечения.



Рис. 2. «Дерево решений» по оценке состояния пациентов с патологией мочевыводящей системы

Построенное дерево принятия решений позволяет на основе клинических признаков оценить состояние пациента и классифициро-

вать для дальнейшего принятия решения о назначении терапии. Данное дерево решений состоит из 19 узлов, в основе логических правил которых лежит 8 исходных признаков. Наиболее значимыми целевыми атрибутами в данном случае являются: анатомические препятствия в прилоханочном или дистальном отделах мочеточника; нарушение оттока мочи из лоханки, которое образуется вследствие наличия камня или другого анатомического препятствия; уретроррагия; аллергические реакции на антибиотики; беременность; сахарный диабет в анамнезе; неконтролируемое артериальное давление.

Апробация построенного «дерева решений» проводилась на контрольной выборке из 60 пациентов отделения урологии. Состояние 56 пациентов было оценено верно, таким образом, достоверность данного «дерева решений» достаточно высока.

### Моделирование процесса выбора тактики лечения на основе статистического и нейросетевого моделирования

Для построения дискриминантных функций данные из историй болезни пациентов отделения урологии разделили на 2 группы. На основе результатов первой группы пациентов строились классификационные функции, вторая группа была предназначена для оценки достоверности полученных функций. Классификационные функции для каждого вида терапии имеют следующий вид:

$$Y1 = -137,8 + 0,505 * x1 - 0,027 * x2 + 0,306 * x3 + 0,07 * x4 + 8,657 * x5 + 1,532 * x6 + 4,855 * x7 + 0,558 * x8 - 0,005 * x9 + 0,213 * x10 + 2,162 * x11 + 1,66 * x12 - 0,222 * x13 + 3,164 * x14 + 4,265 * x15 + 0,72 * x16$$

$$Y2 = -151,896 + 0,531 * x1 - 0,6 * x2 + 0,29 * x3 + 0,079 * x4 + 9,149 * x5 + 1,487 * x6 + 5,498 * x7 + 0,586 * x8 + 0,005 * x9 + 0,243 * x10 + 2,198 * x11 + 1,576 * x12 - 0,25 * x13 + 3,577 * x14 + 4,554 * x15 + 1,949 * x16$$

$$\begin{aligned}
Y_3 = & -431,747 + 0,638 * x_1 \\
& -0,163 * x_2 + 0,079 * x_3 + 0,06 * x_4 \\
& +1,816 * x_5 + 3,566 * x_6 + 5,073 * x_7 \\
& +0,884 * x_8 - 0,38 * x_9 + 0,25 * x_{10} \\
& +2,009 * x_{11} + 1,858 * x_{12} - 0,279 * x_{13} \\
& +154,239 * x_{14} + 5,152 * x_{15} + 2,213 * x_{16} \\
Y_4 = & -222,754 + 0,516 * x_1 \\
& -0,08 * x_2 + 0,77 * x_3 + 0,61 * x_4 \\
& +5,136 * x_5 + 2,99 * x_6 + 5,739 * x_7 \\
& +1,28 * x_8 - 0,139 * x_9 + 0,236 * x_{10} \\
& +2,353 * x_{11} + 2,007 * x_{12} - 0,256 * x_{13} \\
& +71,083 * x_{14} + 3,863 * x_{15} + 2,357 * x_{16} \\
Y_5 = & -233,199 + 0,559 * x_1 \\
& -0,09 * x_2 - 0,107 * x_3 + 0,063 * x_4 \\
& +7,1 * x_5 + 3,421 * x_6 + 5,666 * x_7 \\
& +1,138 * x_8 - 0,167 * x_9 + 0,227 * x_{10} \\
& +2,292 * x_{11} + 1,845 * x_{12} - 0,261 * x_{13} \\
& +74,483 * x_{14} + 3,261 * x_{15} + 3,844 * x_{16}
\end{aligned}$$

где  $Y_1$  – преимущественно консервативная терапия антибактериальными, спазмолитическими и противовоспалительными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами;  $Y_2$  – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме контактной литотрипсии (КЛТ);  $Y_3$  – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме дистанционной литотрипсии (ДЛТ);  $Y_4$  – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме перкутанной нефролитотомии (ПНЛТ);  $Y_5$  – открытая операция и консервативное лечение.  $X_1$  – уровень гемоглобина в ОАК,  $X_2$  – уровень эритроцитов в ОАК,  $X_3$  – уровень лейкоцитов в ОАК,  $X_4$  – СОЭ в ОАК,  $X_5$  – белок в ОАМ,  $X_6$  – лейкоциты в ОАМ,  $X_7$  – эритроциты в ОАМ,  $X_8$  – уровень глюкозы в биохимическом анализе крови,  $X_9$  – уровень мочевины в биохимическом анализе крови,  $X_{10}$  – уровень креатинина в биохимическом анализе крови,  $X_{11}$  – общий белок в биохимическом анализе крови,  $X_{12}$  – обобщенные результаты УЗИ и КТ диагностики,  $X_{13}$  – размеры камня в мочеточнике,  $X_{14}$  – размеры камня в почке,  $X_{15}$  – результаты посева мочи,  $X_{16}$  – результаты внутривенной урографии. Значение критерия Уилкса  $\lambda=0,0075668$  близко к 0, что говорит о хорошей различаемости классов.

Для построения нейронных сетей, предназначенных для моделирования процесса выбора терапии больных хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью, использовались пакет STATISTICA 6 и алгоритм обучения с обратным распознаванием ошибки. В пакете STATISTICA 6 был построен ансамбль из 10 нейронных сетей. Обучение нейронной сети производилось на 120 примерах, 30 примеров было выделено для тестирования моделей.

Также входные данные, используемые для выбора тактики лечения, имеют различные единицы измерения, поэтому перед их подачей на вход сети они были преобразованы в 0 и 1. Таким образом, векторы классификационных признаков заболеваний хронического пиелонефрита и мочекаменной болезни представлены следующей последовательностью:  $x_1$  – снижение гемоглобина в ОАК,  $x_2, x_3$  – уровень эритроцитов в ОАК,  $x_4, x_5$  – уровень лейкоцитов в ОАК,  $x_6, x_7$  – увеличение СОЭ в ОАК,  $x_8$  – увеличение белка в ОАМ,  $x_9$  – увеличение лейкоцитов в ОАМ,  $x_{10}$  – увеличение эритроцитов в ОАМ,  $x_{11}$  – увеличение уровня глюкозы в биохимическом анализе крови,  $x_{12}, x_{13}$  – уровень мочевины в биохимическом анализе крови,  $x_{14}$  – увеличение креатинина в биохимическом анализе крови,  $x_{15}$  – снижение общего белка в биохимическом анализе крови,  $x_{16}$  – результаты посева мочи,  $x_{17}, x_{18}$  – размеры камня в мочеточнике,  $x_{19}, x_{20}$  – размеры камня в почке,  $x_{21}$  – нормализация кровоснабжения почек артериальной и венозной кровью, наблюдаемая в течение пребывания больного в стационаре по средствам ультразвуковой доплерографии.

Нейросетевые модели имеют по 5 выходов, которые соответствуют каждому из присутствующих в обучающей выборке классов лечения. В качестве нелинейного элемента нейрона используется нелинейный функциональный сигмоидальный преобразователь:

$$f_{yi}(S) = \frac{1}{1 + e^{-0.1s}}$$

Сети, которые реализуют данную систему, представлены на рис. 3.



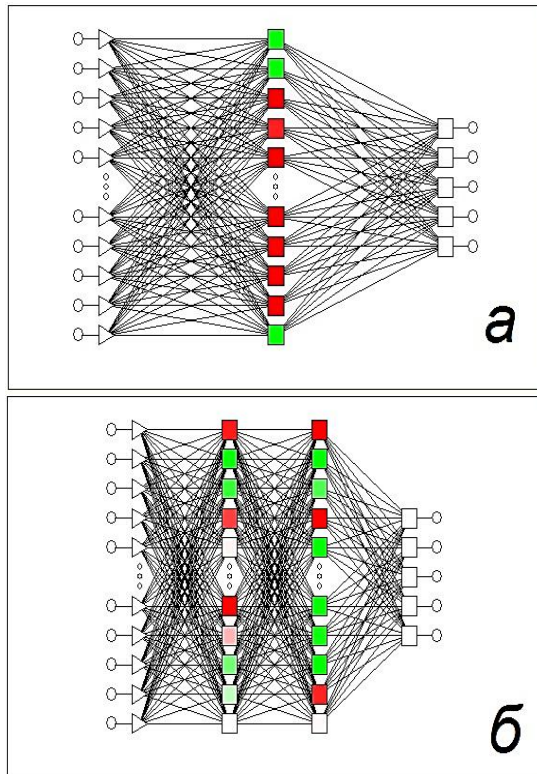


Рис. 3. Архитектура нейронных сетей: а – нейронная сеть с одним скрытым слоем; б – нейронная сеть с двумя скрытыми слоями

В нейронной сети под буквой (а) один скрытый слой, состоящий из 14 нейронов. В нейронной сети (б) два скрытых слоя, первый слой состоит из 14 нейронов, а второй слой нейронной сети состоит из 12 нейронов. Обучение нейронной сети производилось с применением линейной функции активации на входном слое, сигмоидальной функции на скрытом и логистической функции на выходном слое. При адекватном распознавании на одном из выходных элементов будет высокое значение активации при небольших величинах на остальных четырех элементах. Апробация моделей проводилась на контрольной выборке из 30 пациентов. Лишь одному пациенту была подобрана неправильная терапия, что соответствует достоверности выбора схемы лечения 97%.

#### **Разработка модуля цифровой обработки результатов ультразвуковой доплерографии больных с патологией мочевыводящих путей**

Ультразвуковая доплерография сосудов почек определяет состояние вен и сосудов, которые отвечают за правильное функционирование почек. Допплеровский эффект не что иное,

как разница между частотами посылаемого в орган ультразвукового импульса и ответным эхо-сигналом, отраженным от эритроцитов. Транслируемый на монитор компьютера результат расшифровывается врачом. Цветовое разрешение показателей, иначе цветовое доплеровское картирование (ЦДК), имеет большую информативность, поскольку, фактически, исключает ошибки при диагностике. Красным цветом на мониторе отображается кровоток, направленный к датчику, голубым – движение кровотока от датчика. Яркость цвета определяется скоростью процесса тока крови.

Разработка модуля цифровой обработки результатов ультразвукового доплерографического исследования проводилась в программе MATLAB. Материалом исследования явились снимки, которые сделаны при проведении ультразвуковой доплерографии почек пациентов урологического отделения. Данное инструментальное исследование проводилось на ультразвуковом аппарате Logiq 7 на момент поступления в больницу и на 5-е сутки после проведения медикаментозного лечения.

Врачу необходимо обработать результаты исследования для дальнейшего принятия решения о назначении терапии. Обработка состоит из визуального изучения снимков ультразвуковой доплерографии, а также подсчета количества «теплых» и «холодных» точек. Для выполнения подсчета необходимо провести предобработку снимка ультразвуковой доплерографии. На снимках мы видим не только сосудистую картину почек, но и сосудистый рисунок примыкающих органов. Целью исследования является оценка и подсчет количества венозной и артериальной крови в почечных сосудах, для этого необходимо избавиться от дополнительного рисунка на снимке. С помощью операторов пакета Image Processing Toolbox выполним кадрирование снимка ультразвуковой доплерографии. Геометрическое преобразование снимка осуществлялось при помощи оператора `imcrop`, который предназначен для выделения конкретной области. «Холодные» точки – это пиксели, которые имеют синий цвет, отображающие на экране монитора венозную кровь. «Теплые» точки – это пиксели красного цвета, которые отображают артериальную кровь.

В пакете MATLAB по конкретному алгоритму было обработано 100 снимков ультразвуковой доплерографии, проводимой у 25 пациентов, которые страдают мочекаменной болезнью и хроническим пиелонефритом. Больным,

у которых наблюдалось уменьшение кровотока, назначались операционная терапия и прием антибактериальных средств. Пациентам, у которых кровоснабжение почки нормализовалось, проводилось консервативное медикаментозное лечение в сочетании с физиотерапией.

Данный модуль цифровой обработки позволяет достаточно достоверно дать количественную оценку нарушению кровотока в почке и предоставить достаточную информацию для врача-уролога в целях назначения корректной терапии. Результаты тестирования снимков ультразвуковой доплерографии пациентов отделения урологии использовались как входные данные для нейросетевых моделей, ранее представленных в данной статье.

#### **Алгоритмизация процессов диагностики и выбора тактики лечения на основе имитационного моделирования**

В современной системе здравоохранения привлечение математического аппарата для моделирования процесса управления постановкой диагноза не является редкостью. Популярным направлением является имитационное моделирование. Имитационное моделирование является научным методом исследования, идея которого содержится в том, что изучаемая система заменяется моделью с адекватной точностью. Алгоритм процессов диагностики и выбор направления лечения заболевания включает в себя ряд взаимосвязанных событий, таких как: проведение первичного медицинского осмотра пациента, прибывшего в стационар, и сбор анамнеза; направление пациента на инструментальные и лабораторные исследования; оценка результатов анализов; выбор схемы лечения больного. Итогом нашего наблюдения за работой врачей, наблюдавших пациентов с пиелонефритом и/или мочекаменной болезнью, стало построение сетевой имитационной модели. В данной имитационной модели причинно-следственная связь была представлена на базе аппарата сетей Петри. Маркированная сеть Петри обозначена пятью символами  $\langle V, D, I, O, M \rangle$ , где  $V$  – это конечное число символов-позиций;  $D$  – переходы;  $I$  – входная функция;  $O$  – выходная функция.  $V = \langle b0-b18 \rangle$ ,  $D = \langle d1-d26 \rangle$ .

В построенной сети Петри под переходом понимается событие, которое происходит с больным отделением урологии в процессе диа-

гностики и лечения. События имеют конкретную продолжительность, следовательно, позиции будут выглядеть как условия, выполнение которых будет приводить к срабатыванию переходов. Функциональные назначения позиций:  $b0$  – Госпитализация больного в стационар для проведения диагностики;  $b1$  – Проведение первичного осмотра, сбор анамнеза;  $b2$  – Лабораторное исследование мочи количественными методами;  $b3$  – Посев мочи с целью определения патогенной микрофлоры;  $b4$  – Исследование функции почек (проба Реберга);  $b5$  – Общий анализ мочи;  $b6$  – Биохимический анализ крови;  $b7$  – ультразвуковая доплерография почек (УЗДГ);  $b8$  – Внутривенная урография;  $b9$  – Компьютерная томография (КТ);  $b10$  – Преднизолоновый тест;  $b11$  – Ангиография;  $b12$  – Анализ данных и постановка диагноза;  $b13$  – Нефростомия;  $b14$  – Катетеризация;  $b15$  – Антибактериальная, противовоспалительная, иммуностимулирующая, литокинетическая терапия;  $b16$  – Амбулаторное лечение: назначение уроантисептиков;  $b17$  – Противорецидивные курсы уроантисептиков;  $b18$  – Контрольное обследование.

Разработанная сеть Петри обладает правилами функционирования, которые позволяют отслеживать состояние процессов диагностики и лечения больных с патологией мочевыделительной системы. Также сеть позволяет генерировать варианты управления посредством имитации. На рис. 4 представлена сеть Петри для процессов диагностики и выбора тактики лечения хронического пиелонефрита и МКБ.

#### **Автоматизированная информационная система оценки состояния, диагностики и выбора тактики лечения хронического пиелонефрита и мочекаменной болезни**

В основе автоматизированной информационной системы лежат методы, модели и модули, представленные в статье выше. Система дает пользователю ряд возможностей хранения информации, корректировки данных, обобщения данных о пациентах отделения урологии и использования специальных средств, а именно, нейронных сетей, дискриминантного анализа, дерева решений. Также система оснащена возможностью формирования статистического отчета по отделению.

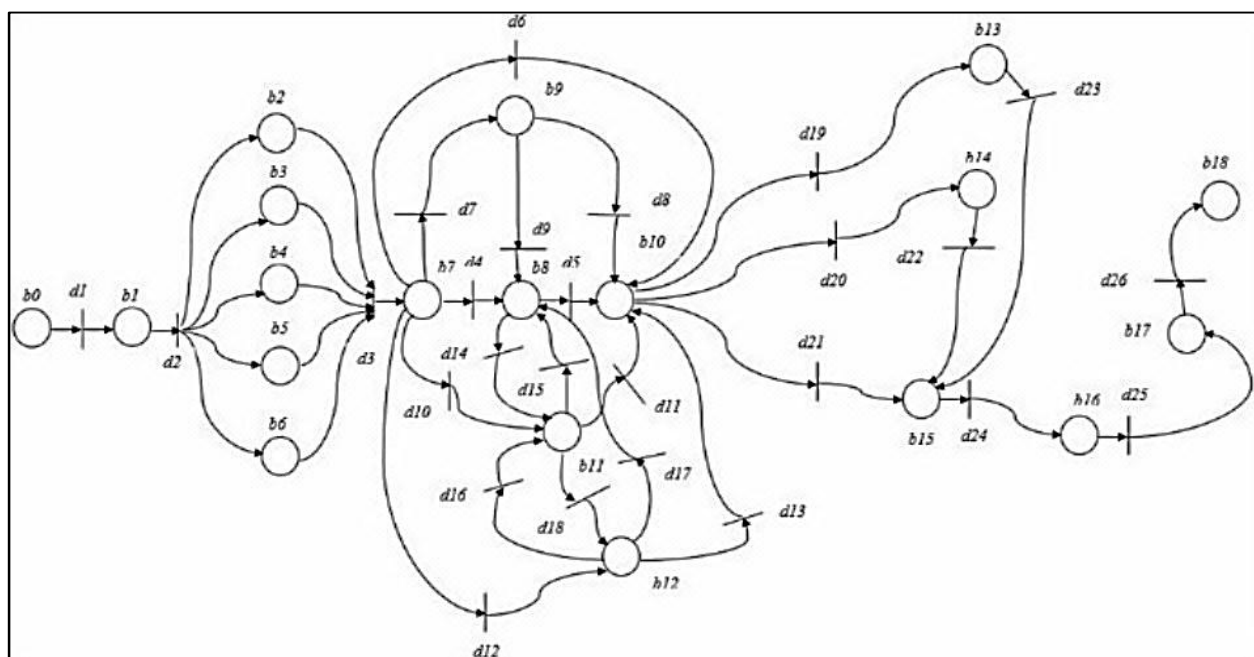


Рис. 4. Имитационная модель диагностики и лечения хронического пиелонефрита и мочекаменной болезни

Работа данной автоматизированной информационной системы обеспечивается с помощью двух специальных подсистем. Первая специальная подсистема несет ответственность за сбор, хранение, обработку информации и последующую оценку состояния пациента с применением метода «дерева решений». Данная подсистема представлена базой данных, которая хранит в себе необходимую информацию о пациенте, а также данные инструментальных исследований, такие как снимки ультразвуковой диагностики и внутривенной урографии. Источником информации в данном случае выступает пациент, сообщение которого с базой данных системы происходит при помощи врача-диагноста, который формирует историю болезни пациента.

Вторая подсистема программы включает в себя набор моделей для выбора вида терапии. Выбор схемы лечения пациентов с патологией мочеполовой системы основывается на нейросетевых моделях и дискриминантных классификационных функциях.

Автоматизированная информационная система оснащена информационно-справочным модулем, который содержит информацию о хроническом пиелонефрите и мочекаменной болезни, о фитотерапии в урологии, о физиотерапевтических методах лечения патологий мочевыделительной системы, санаторно-курортном лечении заболевания, профилактики инфекций мочевыводящих путей. Также в модуле находится встроенная сетевая модель.

Функционирование автоматизированной информационной системы можно описать по следующему алгоритму:

- 1) обращение диагноста к базе данных;
- 2) получение диагностом информации о конкретном пациенте из БД или добавление нового пациента в БД;
- 3) преобразование и обработка данных;
- 4) оценка состояния пациента на основе «дерева решений»;
- 5) цифровая обработка снимков ультразвуковой доплерографии;
- 6) выбор тактики лечения с помощью дискриминантных классификационных функций;
- 7) выбор терапии при помощи нейросетевых модели;
- 8) в базу данных вводятся сведения о новом пациенте либо, по необходимости, корректируется информация о больном, который попал в отделение повторно;
- 9) вывод на печать медицинской карты пациента отделения урологии.

Автоматизированная медицинская информационная система написана на объектно-ориентированном языке программирования Java, который является надежным инструментом разработки прикладного программного обеспечения. В качестве среды разработки применялась интегрированная среда разработки с открытым исходным кодом NetBeans. Для разработки интерфейса использовали swing-технологии, для связи с базой данных Hibernate. Сама база данных выполнена в среде mySql.

## Заключение

При проектировании автоматизированной медицинской информационной системы оценки состояния, диагностики и выбора схемы лечения пациентов с хроническим пиелонефритом и/или мочекаменной болезнью были получены следующие результаты:

- по данным априорного ранжирования мнения экспертов и корреляционного анализа выделены наиболее ценные диагностические признаки, из которых составлена матрица входных значений;
- построен алгоритм оценки состояния пациентов на основе дерева принятия решений;
- получены модели дискриминантных классификационных функций по выбору схемы лечения;
- построены нейросетевые модели с одним и несколькими скрытыми слоями для выбора тактики лечения пациентов отделения урологии;
- разработан модуль цифровой обработки результатов ультразвуковой доплерографии;
- построена сетевая модель диагностики и подбора схемы терапии хронического пиелонефрита и/или мочекаменной болезни.

На базе спроектированных моделей и модулей была разработана автоматизированная медицинская информационная система, которая может быть применена врачом-урологом в качестве интеллектуальной системы поддержки принятия решений. Такое программное средство позволит повысить уровень оказываемой помощи пациенту, даст возможность врачу-диагносту сократить время постановки диагноза и с помощью математических моделей поможет выбрать верный алгоритм лечения пациентов.

## Литература

1. Коровин Е.Н., Родионов О.В. Методы обработки биомедицинских данных: учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ, 2007.
2. Новикова Е.И., Родионов О.В., Коровин Е.Н. Моделирование биомедицинских систем: учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ, 2008. 196 с.
3. Лопаткин Н.А. Урология. М.: ГЭОТАР – МЕД, 2004.
4. Шилова Е.М. Нефрология: учеб. пособие для послевузовского образования. М.: ГЭОТАР – Медиа, 2007.
5. Коровин Е.Н., Левенков К.О., Рябчунова Л.В. Анализ и алгоритмизация процессов диагностики и выбор тактики лечения хронического пиелонефрита на основе имитационного моделирования // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. Т. 15. № 1. С. 84-87.
6. Интеллектуализация процесса диагностики хронического пиелонефрита на основе априорного ранжирования мнения экспертов / Е.Н. Коровин, В.Н. Коровин, К.О. Левенков, М.В. Лушник // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. Т. 15. № 4. С. 647-651.
7. Кластерный анализ данных по выбору тактики лечения хронического пиелонефрита / К.О. Левенков, А.С. Турбин, Е.Н. Коровин, А.В. Кузьменко, Т.А. Гяургиев // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16. № 4. С. 857-861.
8. Разработка нейронной сети для постановки диагноза «хронический пиелонефрит»/ В.Н. Коровин, Е.Н. Коровин, К.О. Левенков, М.В. Лушник // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14. № 3. С. 585-588, 647-651.
9. Назаренко Г.И., Гулиев Я.И., Ермаков Д.Е. Медицинские информационные системы: теория и практика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 320 с.
10. Курс теории статистики: учебник/ под ред. В.Н. Салина, Э.Ю. Чурикова. М.: Финансы и Статистика, 2006. 353 с.
11. Savas L., Guvel S., Onlen Y. Nosocomial urinary tract infections: micro-organisms, antibiotic sensitivities and risk factors // WestIndianMed. 2006. № 55 (3). P. 188-193.
12. Блинов И.Н., Романчик В.С. Java. Промышленное программирование: практическое пособие. Минск: Универсал Пресс, 2007. 704 с.

Поступила 08.10.2018; принята к публикации 13.11.2018

## Информация об авторах

**Левенков Кирилл Олегович** - аспирант, Воронежский государственный технический университет (394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, 14), e-mail: kirlevenkov@mail.ru

**Коровин Евгений Николаевич** - д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет (394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, 14), e-mail: korovin@saums.vorstu.ru

## DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF THE CONDITION EVALUATION, DAGNOSTICS AND SELECTION OF TACTICS FOR THE TREATMENT OF PATIENTS WITH CHRONIC DISEASES

**K.O. Levenkov, E.N. Korovin**

**Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia**



**Abstract:** the article presents the process of designing an automated medical information system for assessing the condition, diagnosis and tactics of treating patients with the pathology of the urogenital system based on statistical, simulation and neural network modeling. As input information for the construction of mathematical models for assessing the state and selection of a patient treatment scheme, data from 150 case histories of patients of the urology department of the Budgetary Healthcare Institution of the Voronezh Region of Voronezh City "Clinical Emergency Hospital No. 10" were used. To assess the significance of clinical signs we used correlation analysis and the method of a priori ranking of expert opinion. Assessment of the condition of patients with pathology of the excretory system was carried out using the construction of a "decision tree" and statistical modeling. The choice of treatment regimen for patients with chronic pyelonephritis and urolithiasis was carried out using neural network models and discriminant functions. A cluster analysis of data on the choice of therapy is given. A simulation model based on the Petri net was developed, which allows one to track the state of diagnosis and treatment of a patient with suspected pyelonephritis and/or urolithiasis and generate management options using imitation tools. The obtained neural network models, discriminant functions, statistical models and analysis results, the Petri net, as well as the digital processing module of the results of Doppler ultrasound are used in an automated medical information system, which contributes to an increase in the efficiency of diagnostic and patient assessment processes. Also, the medical information system allows one to improve the quality and reduce the time of selection of the scheme for treating patients with pathology of the genitourinary system

**Key words:** chronic pyelonephritis, urolithiasis, neural network modeling, discriminant functions, Petri network, Doppler ultrasound, module, simulation modeling

### References

1. Korovin E.N., Rodionov O.V. "Methods for processing biomedical data: manual" ("Metody obrabotki biomeditsinskikh dannykh: ucheb. posobie"), Voronezh, VSTU, 2007.
2. Novikov E.I., Rodionov O.V., Korovin E.N. "Simulation of biomedical systems: manual" ("Modelirovanie biomeditsinskikh sistem: ucheb. posobie"), Voronezh, VSTU, 2008, 196 p.
3. Lopatkin N.A., "Urology" ("Urologiya"), Moscow, GEOTAR - MED, 2004.
4. Shilova E.M. "Nephrology: manual for postgraduate education" ("Nefrologiya: ucheb. posobie dlya po-slevuzovskogo obrazovaniya"), Moscow, GEOTAR - Media, 2007.
5. Levenkov K.O., Korovin E.N., Ryabchunova L.V. "Analysis and algorithmization of diagnostic processes and the choice of tactics for the treatment of chronic pyelonephritis based on simulation modeling", *System Analysis and Management in Biomedical Systems (Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh)*, 201, vol.15, no.1, pp. 84-87
6. Levenkov K.O., Korovin E.N., Kovrov V.N., Lushchik M.V. "Intellectualization of the process of diagnosing chronic pyelonephritis based on a priori ranking of expert opinion", *System Analysis and Management in Biomedical Systems (Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh)*, 2016, vol. 15, no. 4, pp. 647-651.
7. Levenkov K.O., Turbin A.S., Korovin E.N., Kuz'menko A.V., Gyaurgiev T.A. "Cluster analysis of data on the choice of tactics for the treatment of chronic pyelonephritis", *System Analysis and Management in Biomedical Systems (Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh)*, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 857-861.
8. Korovin V.N., Korovin E.N., Levenkov K.O., Lushchik M.V. "Development of a neural network for the installation of the diagnosis of chronic pyelonephritis", *System Analysis and Management in Biomedical Systems (Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh)*, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 585-588, 647-651.
9. Nazarenko G.I., Guliev Ya.I., Ermakov D.E. "Medical information systems: theory and practice" ("Meditsinskie informatsionnye sistemy: teoriya i praktika"), FIZMATLIT, 2005, 320 p.
10. Ed. Salin V.N., Churikov E.Yu. "The theory of statistics course: manual" ("Kurs teorii statistiki: uchebnik"), Moscow, Finansy i Statistika, 2006, 353 p.
11. Savas L., Guvel S., Onlen Y. "Nosocomial urinary tract infections: micro-organisms, antibiotic sensitivities and risk factors", *WestIndianMed*, 2006, no. 55 (3), pp. 188-193.
12. Blinov I.N., Romanchik V.S. "Java. Industrial programming: practical guide" ("Promyshlennoe programmirovaniye: prakticheskoe posobie"), Minsk, Universal Press, 2007, 704 p.

Submitted 08.10.2018; revised 13.11.2018

### Information about the authors

**Kirill O. Levenkov**, Graduate student, Voronezh State Technical University (14 Moskovskiy prospekt, Voronezh, 394026, Russia), e-mail: kirlevenkov@mail.ru

**Evgeniy N. Korovin**, Dr. Sc. (Technical), Professor, Voronezh State Technical University (14 Moskovskiy prospekt, Voronezh, 394026, Russia), e-mail: korovin@saums.vorstu.ru