

УДК 616.31

doi: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.001

Н.А. Кореневский<sup>1</sup>, Т.И. Субботина<sup>3</sup>, И.И. Хрипина<sup>1</sup>, С.А. Пархоменко<sup>2</sup>,  
С.Н. Родионова<sup>1</sup>

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГАНГРЕНЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия

<sup>2,3</sup> Центральный военный клинический госпиталь им. А.А.Вишневского»,  
Москва, Россия

<sup>3</sup> Тульский государственный университет, Тула, Россия

*Работа посвящена актуальной проблеме повышения качества оказания помощи больным, страдающим критической ишемией нижних конечностей, переходящей в гангрену, которая может закончиться ампутацией и даже смертью. В ходе проведенных исследований было показано, что задача прогнозирования возникновения и развития гангрены нижних конечностей относится к классу плохоформализуемых задач с нечеткой структурой данных, что послужило основанием для выбора в качестве базового аппарата исследований методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил. В ходе синтеза нечетких решающих правил был обоснован выбор информативных признаков, получаемых в ходе опросов и осмотров, инструментальных и лабораторных методов исследования. В качестве базовых элементов нечетких решающих правил получены функции принадлежности к классу высокий риск развития гангрены, которые агрегируются в нечеткое правило оценки уверенности в том, что у пациента разовьется гангрена нижних конечностей. На шкале уверенности в развитии гангрены эксперты определили вторичные функции принадлежности к таким прогнозируемым классам состояний пациента как: I – низкая уверенность в развитии гангрены; II – средняя уверенность в развитии гангрены; III – высокая уверенность в развитии гангрены; IV – очень высокая уверенность в развитии гангрены. Решение о классификации принимается по максимальному значению прогностических функций принадлежности. Проведенное математическое моделирование и экспертное оценивание полученных нечетких моделей показало, что их прогностическая уверенность составляет не менее 0,9. Это же качество прогнозирования было подтверждено в ходе статистических испытаний на контрольных выборках объемом 100 человек на каждый класс по таким показателям как диагностическая специфичность, чувствительность и эффективность, а также прогностическая значимость положительных и отрицательных результатов. Полученные результаты позволяют рекомендовать предлагаемые математические модели к использованию в практике работы сердечно-сосудистых хирургов и ангиологов.*

**Ключевые слова:** гангрена, нижние конечности, прогнозирование, математическая модель, нечеткая логика.

## Введение

Ишемические поражения сосудов нижних конечностей (НК), переходящие в критические стадии (КИНК) и гангрену относятся к опасной патологии грозящей не только потерей конечности, но и несущей угрозу жизни пациенту [1,2].

Одной из важных задач ведения пациента с ишемическими поражениями нижних конечностей, включая КИНК, является своевременное выявление отрицательных тенденций в развитии заболеваний с проведением соответствующих профилактических и лечебных мероприятий, предотвращающих появление и развитие гангрены нижних конечностей (ГНК).

Анализ литературы показал, что существующие подходы к ведению больных с КИНК недостаточное внимание уделяют индивидуальным особенностям развития КИНК, приводящим к гангрене нижних конечностей [1,2].

Проведенные нами многочисленные исследования для задач с аналогичной структурой данных показали, что остановить процесс развития некробиотических изменений в тканях ишемизированной конечности (гангрену), особенно у больных мультифокальным атеросклерозом можно обеспечив своевременный прогноз возникновения и развития данной патологии с выбором адекватных схем лечебно-оздоровительных мероприятий.

Таким образом, одной из актуальных задач, связанных с повышением качества медицинского обслуживания таких больных, является достаточно точная оценка появления и развития гангрены нижних конечностей. В свою очередь своевременный и точный прогноз позволит выбирать адекватные схемы профилактики и лечения, снимая риски инвалидизации, ампутации и смерти.

Анализ работ посвященных повышению эффективности борьбы с ГНК показал, что наиболее близкой к решаемой в данной статье задаче является работа [1], в которой для прогнозирования возникновения ГНК используется модификация нечеткой накопительной модели Е. Шортлифа.

Специально проведенными исследованиями было установлено, что качество прогноза наступления искомой патологии значительно улучшается, если в известную модель ввести также дополнительные информативные признаки как уровень длительного эмоционального напряжения, хронического утомления и так же числовую характеристику функционального резерва организма и электрические характеристики биологически активных точек «связанных» с кровоснабжением ног.

**Цель исследования** – повышение качества прогнозирования гангрены нижних конечностей путем расширения состава информативных признаков, характеризующих уровень психоэмоционального напряжения и утомления, функциональный резерв организма, электрические характеристики специфических биологически активных точек.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования являлись больные с различной степенью тяжести хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей (ХОЗАНК), включая гангрену нижних конечностей.

Для решения задачи синтеза математических моделей прогнозирования возникновения ГНК в течение шести лет (с 2011 по 2017 гг) было организовано наблюдение за 430 больными поликлиники БМУ Курской областной клинической больницы №1 страдающими хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей (ХОЗАНК). Группу контроля составляли 180 здоровых доноров. Общими критериями включения в группу наблюдений являлись:

1. Возраст пациента от 30 до 85 лет.
2. Наличие ХОЗАНК с низким и высоким риском появления гангрены, а так же обязательное наличие пациентов с ГНК.
3. Наличие информированного согласия на участие в исследовании и соблюдении указаний врача относительно назначенной терапии и проводимых клиничко-лабораторных исследований.

Критериями исключения являлось отсутствие хотя бы одного из критериев включения.

Проведенный разведочный анализ по собранным данным показал, что задача прогнозирования возникновения ГНК относится к классу плохоформализуемых задач, что затрудняет использование традиционных методов прогнозирования путем статистического анализа временных рядов [3,4,5] вместо статистических методов исследования целесообразно использовать технологию мягких вычислений и, в частности, теорию нечеткой логики принятия решений.

Учитывая положительный опыт решения задач прогнозирования, со структурой данных аналогичной решаемой в данной работе, в качестве основного математического аппарата была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (ГНРП) достаточно подробно описанная в работах [2,3,4,5,6,7].

Пятилетние наблюдения за больными и пациентами контрольной группы позволили сформировать репрезентативные контрольные выборки для проверки качества работы решающих правил по таким показателям как диагностическая чувствительность (ДЧ), специфичность (ДС) и

эффективность (ДЭ). При объеме выборки в 100 человек на каждый класс обеспечивается оценка вероятности правильной квалификации на уровне 0,95.

В качестве базовой математической модели в работе выбрана прогностическая модель, предложенная в работе доктора А. Быкова [1].

В общем виде известная модель описывается выражением:

$$UGB = F(OKG, IMI, LMI), \quad (1)$$

где UGB – уверенность в появлении и развитии гангрены; OKG – уверенность в появлении и развитии гангрены, определяемая по опроснику качества жизни; IMI – уверенность в появлении и развитии гангрены по данным инструментальных исследований (лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ), реографических индекс (РИ), температура тела (Т), частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (САД), частота дыхательных движений (ЧДД)); LMI – уверенность в появлении и развитии гангрены нижних конечностей по данным лабораторных исследований (СОЭ у мужчин (СОЭм), СОЭ у женщин (СОЭж), количество лейкоцитов (L), тромбоциты (TR)).

Проведенными нами исследованиями было установлено, что если к комплексному показателю UGB добавить показатели, характеризующие уровень психоэмоционального напряжения, хронического утомления, функциональный резерв организма и электрические характеристики биологически активных точек (БАТ), «связанных» с кровоснабжением ног, то качество прогнозирования рецидива ГПН значительно увеличивается.

Для оценки уровня психоэмоционального напряжения (YPH), уровня хронического утомления (YU) и уровня функционального резерва (YFR) были использованы математические модели, достаточно подробно описанные в работах [2,4,6,8,9,10,11,12,13].

Используя методологию синтеза ГНВП были получены функции принадлежности  $\mu_{\text{вг}}(Y_i)$  к классу высокий риск возникновения гангрены с базовыми переменными YPH, YU и UFR:

$$\mu_{\text{вг}}(YPH) = \begin{cases} 0, & \text{если } YPH < 0,2; \\ 1,43(YPH - 0,2)^2, & \text{если } 0,2 \leq YPH < 0,55; \\ 0,35 - 1,43(YPH - 0,9)^2, & \text{если } 0,55 \leq YPH < 0,9; \\ 0,35, & \text{если } YPH \geq 0,9, \end{cases}$$
$$\mu_{\text{вг}}(YU) = \begin{cases} 0, & \text{если } YU < 0,4; \\ 1,389(YU - 0,4)^2, & \text{если } 0,4 \leq YU < 0,7; \\ 0,25 - 1,389(YU - 1)^2, & \text{если } 0,7 \leq YU < 1,0, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{BG}}(YFR) = \begin{cases} 0,4, \text{ если } 0 \leq YFR < 0,2; \\ 0,4 - 2,22(YFR - 0,2)^2, \text{ если } 0,2 \leq YFR < 0,5; \\ 2,22(YFR - 0,8)^2, \text{ если } 0,5 \leq YFR < 0,8; \\ 0, \text{ если } YFR \geq 0,8. \end{cases}$$

Агрегация этих трех функций принадлежности определяет частную уверенность в возникновении гангрены:

$$UGS(q+1) = UGS(q) + \mu_{BG}(Y_{j+1})[1 - UGS(q)], \quad (2)$$

где  $UGS(1) = \mu_{BG}(YPH)$ ;  $Y_2 = YU$ ;  $Y_3 = YFR$ .

Частная уверенность в возникновении гангрены по группе биологически активных точек УКБ определяется в соответствии с рекомендациями [10,14,15,16,17].

$$UKB = F_B(\delta R_j), \quad (3)$$

где  $\delta R_j$  - относительные отклонения сопротивлений БАТ от своих номинальных значений ( $j=E31, E32, E38, E40, E42, RP6, RP7, V25, V37, V38, V39, V54, V56$ ).

Показатели UGB, УКБ и UGS по отношению к интегральной оценке риска возникновения гангрены URV носят скрытый (латентный) характер. Поэтому с учетом рекомендаций [2,18] целесообразно проверить их роль и информативную ценность с использованием теории измерения латентных с моделью Г. Раша.

С этой целью для показателей, характеризующих URV, была составлена Таблица индикаторных переменных, по которой с использованием интерактивного пакета RUMM 2020 производилась оценка целесообразности использования UGB, УКБ и UGS для расчета уверенности в возникновении ГНК.

Считается, что индикаторные переменные соответствуют латентной переменной, если элементы экспериментальной Таблицы соответствуют логической модели Г. Раша, причем по критерию ХИ-квадрат это расхождение не превышает 0,05 (переменная Prob), Таблица Рисунка 1.

INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name URV5 - Serial Order										
	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
1	1	I0001	Poly	-1,031	0,669	-1,056	11,67	0,424	4	0,980438
2	2	I0002	Poly	1,408	0,602	-0,968	11,67	0,536	4	0,969917
3	3	I0003	Poly	-0,377	0,576	-0,943	11,67	0,852	4	0,931368

Рисунок 1 Скриншот Таблицы ранжирования индикаторных переменных UGB, УКБ, UKS латентной переменной URV

Анализ графиков на Рисунке 1 показывает, что все индикаторные переменные по критерию ХИ-квадрат соответствуют латентной переменной URV.

В ходе дополнительного разведочного анализа было установлено, что рост величин UGB, UKB и UGS приводит к росту уровня риска возникновения ГНК. В связи с этим было принято решение, используя UGB, UKB и USS как базовые переменные, определить функции принадлежности к критическому риску возникновения гангрены (класс  $\omega_{ГВ}$ ).

Полученные в соответствии с рекомендациями [2,3,19] функции принадлежности аналитически описываются выражениями:

$$\mu_{\omega_{ГВ}}(UGB) = \begin{cases} 0, & \text{если } UGB < 0,2; \\ 3,05(UGB - 0,2)^2, & \text{если } 0,2 \leq UGB < 0,5; \\ 0,55 - 3,05(UGB - 0,8)^2, & \text{если } 0,5 \leq UGB < 0,8; \\ 0,55, & \text{если } UGB \geq 0,8, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{ГВ}}(UKB) = \begin{cases} 0, & \text{если } UKB < 0,4; \\ 3,2(UKB - 0,4)^2, & \text{если } 0,4 \leq UKB < 0,65; \\ 0,4 - 3,2(UKB - 0,9)^2, & \text{если } 0,65 \leq UKB < 0,9; \\ 0,4, & \text{если } UKB \geq 0,9, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{ГВ}}(UGS) = \begin{cases} 0, & \text{если } UGS < 0,1; \\ 1,94(UGS - 0,1)^2, & \text{если } 0,1 \leq UGS < 0,4; \\ 0,35 - 1,94(UGS - 0,7)^2, & \text{если } 0,4 \leq UGS < 0,7; \\ 0,35, & \text{если } UGS \geq 0,7, \end{cases}$$

С учетом свойств переменных UGB, UKB и UGS их агрегацию в величину риска возникновения гангрены нижних конечностей целесообразно осуществлять с использованием выражения

$$URV(q+1) = URV(q) + \mu_{ГВ}(Y_{q+1})[1 - URV(q)], \quad (4)$$

где  $URV(1) = \mu_{ГВ}(UGB)$ ;  $Y_2 = UKB$ ;  $Y_3 = UGS$ .

Для шкалы URV на экспертном уровне было принято решение выделить четыре класса риска возникновения ГНК [2,3]:

- I – низкая уверенность в появлении гангрены;
- II – средняя уверенность в появлении гангрены;
- III – высокая уверенность в появлении гангрены;
- IV – очень высокая уверенность в появлении гангрены.

На Рисунке 2 приведены графики функций принадлежности к классам оценки уверенности в возникновении гангрены.

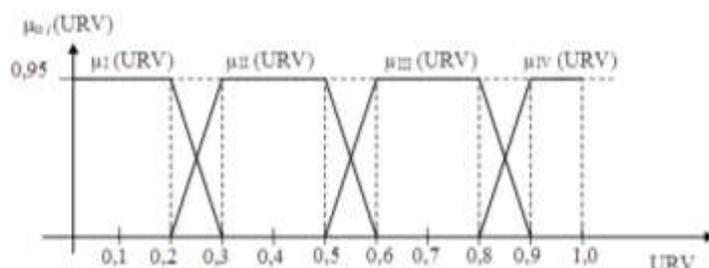


Рисунок 2 - Графики классификационных функций принадлежности для базовой переменной URV

Аналитически эти графики описываются выражениями:

$$\mu_I(URV) = \begin{cases} 0,95, & \text{если } 0 \leq URV < 0,2; \\ -9,5URV + 2,85, & \text{если } 0,2 \leq URV < 0,3; \\ 0, & \text{если } URV \geq 0,3, \end{cases}$$

$$\mu_{II}(URV) = \begin{cases} 0, & \text{если } URV < 0,2; \\ 9,5URV - 1,9, & \text{если } 0,2 \leq URV < 0,3; \\ 0,95, & \text{если } 0,3 \leq URV < 0,5; \\ -9,5URV + 5,7, & \text{если } 0,5 \leq URV < 0,6; \\ 0, & \text{если } URV \geq 0,6, \end{cases}$$

$$\mu_{III}(URV) = \begin{cases} 0, & \text{если } URV < 0,5; \\ 9,5URV - 4,75, & \text{если } 0,5 \leq URV < 0,6; \\ 0,95, & \text{если } 0,6 < URV < 0,8; \\ -9,5URV + 8,55, & \text{если } 0,8 \leq URV < 0,9; \\ 0, & \text{если } URV \geq 0,9, \end{cases}$$

$$\mu_{IV}(URV) = \begin{cases} 0, & \text{если } URV < 0,8; \\ 9,5URV - 7,6, & \text{если } 0,8 \leq URV < 0,9; \\ 0,95, & \text{если } URV \geq 0,9, \end{cases}$$

Решение о классификации принимается по максимальным значениям функций принадлежности:

$$\Omega_{\ell B} = \max \{ \mu_I(URV), \mu_{II}(URV), \mu_{III}(URV), \mu_{IV}(URV) \} \quad (5)$$

При равных значениях двух функций принадлежности решение принимается в пользу более «тяжелой» ситуации.

По результатам математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в правильной классификации по правилу (5) составляет 0,9.

## Результаты

Полученные в работе решающие правила синтезировались с использованием опыта и интуиции высококвалифицированных экспертов, которые хотя и превосходят иногда по качественным показателям принятия решений «работу» формальных моделей, но при возможности требует проведения соответствующих статистических испытаний.

С целью объективизации оценки качества работы полученных решающих правил из наблюдаемой группы людей для пяти лет наблюдений ежегодно проводилась оценка правильных срабатываний решающего правила (4) для двух прогнозируемых классов:  $\omega_0$  - не заболел ГНК;  $\omega_{BG}$  - у пациента за время наблюдения наступает ГНК.

В результате наблюдений было установлено, что в первый и второй год наблюдений показатели качества ДЧ, ДС, ПЗ<sup>+</sup>, ПЗ<sup>-</sup> и ДЭ не удовлетворяют пользователей.

На третий год наблюдений показатели качества превышают величину 0,9 и в последующие годы стабилизируются.

Результаты расчета показателей качества по годам наблюдений приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Значения показателей качества работы прогностического решающего правила 4

Год наблюдения \ ПК	1	2	3	4
ДЧ	0,75	0,79	0,91	0,92
ДС	0,83	0,92	0,92	0,91
ДЭ	0,82	0,88	0,91	0,93
ПЗ <sup>+</sup>	0,81	0,92	0,92	0,92
ПЗ <sup>-</sup>	0,8	0,89	0,92	0,94

Примечание: ПК – показатели качества.

Анализ результатов контрольных статистических испытаний полученных решающих правил показал, что они практически совпадают с результатами математического моделирования и экспертного оценивания, что позволяет их рекомендовать к использованию в медицинской практике сосудистых хирургов и ангиологов.

### Обсуждение

В ходе проведения исследований по получению моделей прогнозирования возникновения гангрены нижних конечностей был выбран математический аппарат исследования – метод синтеза гибридных нечетких решающих правил в сочетании с теорией измерения латентных переменных с моделью Г. Раша. С использованием выбранного математического аппарата были получены математические модели прогнозирования возникновения гангрены нижних конечностей в виде непрерывной нечеткой переменной (шкалы) и в виде функций принадлежности к таким классам состояний как низкая уверенность, средняя уверенность, высокая и очень высокая уверенность в появлении гангрены.

В результате математического моделирования и статистических испытаний было показано, что по всем классам состояний диагностическая чувствительность, специфичность, прогностическая значимость и эффективность не ниже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные модели к использованию в практической медицине.

Полученные математические модели следует использовать в медицинской практике сосудистых хирургов и ангиологов как в виде программного обеспечения смартфонов и планшетных компьютеров так и в составе мощных систем поддержки принятия решений, включая телемедицинские системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Быков, А.В. Прогнозирование возникновения и развития гангрены нижних конечностей на основе нечетких моделей принятия решений [Текст] / А.В. Быков // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. - №4 (25). - С. 95-103.
2. Быков А.В., Корневская С.Н., Пархоменко С.А., Стародубцева Л.В. Прогнозирование появления и развития гангрены нижних конечностей с использованием нечетких интеллектуальных технологий: монография. – Курск «Издательский дом ВИП», 2017. - 420 с.
3. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем / [Текст] Н.А. Корневский // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
4. Корневский, Н.А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореферат на соискание

- ученой степени доктора технических наук / Санкт Петербург, 1993. – 32 с.
5. Корневский, Н.А. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем [Текст] / Н.А. Корневский, К.В. Разумова // Научные технологии. - 2014. Т.15. - №12. – С. 31-39.
  6. Серегин, С.П. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде: монография / [Текст] С.П. Серегин, О.Н. Воробьева, С.Н. Корневская [и др.] // Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2015. – 166 с.
  7. Шуткин, А.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил [Текст] / А.Н. Шуткин, С.Н. Корневская, В.В. Федянин // Материалы международной научно-практической конференции. 2014. – С. 61-64.
  8. Конева, Л.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека [Текст] / Л.В. Конева, Н.А. Корневский, С.В. Дегтярев // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012. – Т11.- № 4. - С. 993-1000.
  9. Корневская, С.Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом / С.Н. Корневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. - №5. – С. 24-27.
  10. Корневский, Н.А. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей/ [Текст] Н.А. Корневский, Н.А. Серебровский, В.И. Коптева, Н.А. Говорухина // Т.Н. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак, 2012. - 231 с.
  11. Корневский, Н.А. Комплекс для исследования особенностей внимания и памяти/ Н.А. Корневский, Д.Е. Скопин, Р.Т. Аль-Касасбех, А.А. Кузьмин // Медицинская техника, 2010, №1. - С. 36-40.
  12. Харьков, С.В. Оценка защитных механизмов организма и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики [Текст] / С.В. Харьков, С.Д. Долженков, С.Н. Корневская, А.Г. Коцарь // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012. – Т11. - №1. – С. 44-49.
  13. Korenevskiy, N.A. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional [Text] / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescous, M.Alshamasin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings. – 2013. – V.40. – IFMBE. – P.213-216.

14. Гадалов В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний. Гадалов В.Н., Корневский Н.А., Снопков В.Н. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. - Т. 11. - № 2. - С. 515-521.
15. Корневский, Н.А. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики/ [Текст] Н.А. Корневский, Л.П. Лазурина // ОмЦП. – Курск, 2000. – 177 с.
16. Al-Kasasbeh, R.T. Prediction of the gastric ulcer based on the change of the electrical resistance of the acupuncture points and fuzzy logic decision making, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 16, No. 3, pp.302–313.
17. Al-Kasasbeh, R.T., Ionescou, F., Korenevskiy, N.A. and Alshamasin, M. (2012) ‘Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic’, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 15, No. 7, pp.681–689.
18. Бойцов, А.В. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека [Текст] / А.В. Бойцов, Л.П. Лазурина, С.Н. Корневская, А.Н. Шуткин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. - №6(57). – С. 52-58.
19. Корневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования. Телекоммуникации. 2006.- №6. – С.25-31.

N.A. Korenevskiy<sup>1</sup>, T.I. Subbotina<sup>3</sup>, I.I. Khripina<sup>1</sup>, S.A. Parkhomenko<sup>2</sup>,  
S.N. Rodionova<sup>1</sup>

### **FORECASTING OF THE GENERATION OF THE LOWER LIMBS ON THE BASIS OF HYBRID FUZZY MODELS**

<sup>1</sup>*The Southwest State University (SWSU)*

<sup>2</sup>*FGBU «3 Central Military Clinical Hospital. A.A. Vishnevskiy»*

<sup>3</sup>*FGBOU VO «Tula State University»*

*The work is devoted to the urgent problem of improving the quality of care for patients suffering from critical ischemia of the lower limbs, passing into gangrene, which can result in amputation and even death. In the course of the studies, it was shown that the task of predicting the origin and development of gangrene of the lower limbs belongs to the class of*

*poorly formalizable problems with an indistinct data structure, which served as the basis for choosing as a basic research apparatus the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules. During the synthesis of fuzzy decisive rules, the selection of informative signs obtained during surveys and examinations, instrumental and laboratory methods of investigation was justified. As the basic elements of fuzzy decision rules, the functions of belonging to the class of high risk of gangrene development are obtained, which are aggregated into an unclear rule of confidence assessment that the patient will develop gangrene of the lower limbs. On a scale of confidence in the development of gangrene, experts determined the secondary functions of belonging to such predictable classes of patient conditions as: I - low confidence in gangrene development; II - moderate confidence in the development of gangrene; III - high confidence in the development of gangrene; IV - very high confidence in the development of gangrene. The decision to classify is taken based on the maximum value of prognostic membership functions. The performed mathematical modeling and expert evaluation of the fuzzy models obtained showed that their predictive confidence is at least 0.9. The same quality of forecasting was confirmed during statistical tests on control samples of 100 persons per class for such indicators as diagnostic specificity, sensitivity and efficiency, as well as prognostic significance of positive and negative results.*

*The results obtained make it possible to recommend the proposed mathematical models for use in the practice of cardiovascular surgeons and angiologists.*

**Keywords:** gangrene, lower extremities, prediction, mathematical model, fuzzy logic.

## REFERENCES

1. Bykov, A.V. Prognozirovaniye vozniknoveniya i razvitiya gangreny nizhnikh konechnostey na osnove nechetkikh modeley prinyatiya resheniy [Tekst] / A.V. Bykov // Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoye priborostroeniye. 2017. - No.4 (25). - pp. 95-103.
2. Bykov A.V., Korenevskaya S.N., Parkhomenko S.A., Starodubtseva L.V. Prognozirovaniye poyavleniya i razvitiya gangreny nizhnikh konechnostey s ispol'zovaniem nechetkikh intellektual'nykh tekhnologiy: monografiya. – Kursk «Izdatel'skiy dom VIP», 2017. - 420p.
3. Korenevskiy N.A. Ispol'zovaniye nechetkoy logiki prinyatiya resheniy dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem / [Tekst] N.A. Korenevskiy // Meditsinskaya tekhnika. 2015. No. 1. pp. 33-35.
4. Korenevskiy, N.A. Printsipy i metody postroeniya interaktivnykh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunktsional'nykh modeley: avtoreferat na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Sankt Peterburg, 1993. – 32p.
5. Korenevskiy, N.A. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modeley otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Tekst] / N.A. Korenevskiy, K.V. Razumova // Naukoemkie tekhnologii.- 2014. Vol.15. - No.12. – pp. 31-39.

6. Seregin, S.P. Matematicheskie modeli prognozirovaniya i profilaktiki retsidivov infarktov miokarda v reabilitatsionnom periode: monografiya / [Tekst] S.P. Seregin, O.N. Vorob'eva, S.N. Korenevskaya [i dr.] // Yugo-Zap. gos. un-t. – Kursk, 2015. – 166p.
7. Shutkin, A.N. Proektirovanie baz znaniy meditsinskikh ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechetkikh pravil [Tekst] / A.N. Shutkin, S.N. Korenevskaya, V.V. Fedyanin // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2014. – pp. 61-64.
8. Koneva, L.V. Otsenka urovnya psikhooemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka [Tekst] / L.V. Koneva, N.A. Korenevskiy, S.V. Degtyarev // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh, 2012. – Vol.11.- No. 4. - pp. 993-1000.
9. Korenevskaya, S.N. Apparatno-programmnyy kompleks dlya psikhofiziologicheskikh issledovaniy na baze platformy ANDROID s AFE-interfeysom / S.N. Korenevskaya, E.S. Shkatova, M.A. Magerovskiy, A.N. Shutkin // Meditsinskaya tekhnika. 2016. - No.5. – pp. 24-27.
10. Korenevskiy, N.A. Prognozirovanie i diagnostika zabolevaniy, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modeley/ [Tekst] N.A. Korenevskiy, N.A. Serebrovskiy, V.I. Kopteva, N.A. Govorukhina // T.N. – Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-kh. ak, 2012. - 231p.
11. Korenevskiy, N.A. Kompleks dlya issledovaniya osobennostey vnimaniya i pamyati/ N.A. Korenevskiy, D.E. Skopin, R.T. Al'-Kasasbekh, A.A. Kuz'min // Meditsinskaya tekhnika, 2010, No.1. - pp. 36-40.
12. Khar'kov, S.V. Otsenka zashchitnykh mekhanizmov organizma i ikh rol' v zadachakh prognozirovaniya i meditsinskoy diagnostiki [Tekst] / S.V. Khar'kov, S.D. Dolzhenkov, S.N. Korenevskaya, A.G. Kotsar' // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh, 2012. – Vol.11. - No.1. – pp. 44-49.
13. Korenevskiy, N.A. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional [Text] / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescouc, M.Alshamasin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings. – 2013. – V.40. – IFMBE. – pp.213-216.
14. Gadalo V.N. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevaniy. Gadalo V.N., Korenevskiy N.A., Snopkov V.N. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2012. - Vol.11. - No. 2. - pp. 515-521.

15. Korenevskiy, N.A. Energoinformatsionnye modeli refleksodiagnostiki/ [Tekst] N.A. Korenevskiy, L.P. Lazurina // OMTsP. – Kursk, 2000. – 177p.
16. Al-Kasasbeh, R.T. Prediction of the gastric ulcer based on the change of the electrical resistance of the acupuncture points and fuzzy logic decision making, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 16, No. 3, pp.302–313.
17. Al-Kasasbeh, R.T., Ionescou, F., Korenevskiy, N.A. and Alshamasin, M. (2012) ‘Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic’, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 15, No. 7, pp.681–689.
18. Boytsov, A.V. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Tekst] / A.V. Boytsov, L.P. Lazurina, S.N. Korenevskaya, A.N. Shutkin // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie. – 2014. - No.6(57). – pp. 52-58.
19. Korenevskiy N.A. Proektirovanie sistem prinyatiya resheniy na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoy diagnostiki i prognozirovaniya. Telekommunikatsii. 2006.- No.6. – pp.25-31