

УДК 615.47

doi: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.002

А.В. Быков, Н.А. Кореневский, С. А. Пархоменко, Л.В.  
Стародубцева, Е.Н. Кореневская

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЫБОРА СХЕМ  
ПРОФИЛАКТИКИ РЕЦИДИВА ГАНГРЕНЫ НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ**

*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»*

*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 проведённых исследований было показано, что задача прогнозирования рецидива гангрены нижних конечностей относится к классу плохоформализуемых задач с нечёткой структурой данных, что послужило основанием для выбора в качестве базового аппарата исследований методологию синтеза гибридных нечётких решающих правил. В ходе синтеза нечётких решающих правил был обоснован выбор информативных признаков, получаемых в ходе опросов и осмотров, инструментальных и лабораторных методов исследования. В качестве базовых элементов нечётких решающих правил получены функции принадлежности к классу высокий риск рецидива гангрены, которые агрегируются в нечёткое правило оценки уверенности в том, что у пациента наступит рецидивы нижних конечностей. На шкале уверенности в развитии гангрены эксперты определили вторичные функции принадлежности к таким прогнозируемым классам состояний пациента как: I- низкая уверенность в рецидиве гангрены; II- средняя уверенность в рецидиве гангрены; III- высокая уверенность в рецидиве гангрены; IV- очень высокая уверенность в рецидиве гангрены. Решение о классификации принимается по максимальному значению прогностических функций принадлежности. Для каждого из выбранных классов разработана соответствующая схема профилактики рецидива гангрены нижних конечностей, эффективность которых проверялась с использованием теории измерения латентных переменных и синтезирована математическая модель их выбора в зависимости от степени риска рецидива гангрены нижних конечностей. В ходе проведённых статистических испытаний было показано, что по сравнению с традиционными схемами профилактики использование предлагаемой модели позволяет увеличить скорость достижения положительных результатов в 2,4 раза (на 58%) и снизить риск ампутации конечностей в 2,5 раза (на 73%). Полученные результаты позволяют рекомендовать предлагаемые математические модели к использованию в практике работы сосудистых хирургов и ангиологов.*

**Ключевые слова:** гангрена, нижние конечности, прогнозирование, математическая модель, нечёткая логика, профилактика, модель Г. Раша.

## **Введение**

Одной из важных задач ведения пациентов с хроническим облитерирующим заболеванием артерий нижних конечностей (ХОЗАНК) является своевременное выявление отрицательных тенденций в развитии

заболевания с проведением адекватных профилактических и лечебных мероприятий [1,2]. Особенно актуальной эта задача является при лечении пациентов с критической ишемией нижних конечностей (КИНК) и её тяжёлой формы гангрены нижних конечностей (ГНК).

Это подтверждается тем, что в России ХОЗАНК страдает до 3% населения, что составляет около 3-х миллионов человек, а КИНК развивается в 30-35% случаев хронических облитерирующих заболеваниях нижних конечностей. При этом в течение года умирает 15-20% пациентов, а 20% переносит высокую ампутацию конечностей. Скандинавские исследования показали, что в мировом масштабе в течение пяти лет погибает до 50% пациентов [3].

В современной литературе можно найти много рекомендаций по профилактике и лечению ГНК [3,4,5,6,7], однако несмотря на достижения современной медицины количество ампутаций нижних конечностей и смертельных исходов у больных с гангреной нижних конечностей остаётся достаточно высокой [3,4,5,6,7]. В работах [5,6,7,8,9,10,11,12,13,14] показано, что для повышения эффективности ведения больных с критической ишемией нижних конечностей (КИНК), включая ГНК, необходимо при выборе схем профилактики и лечения основываться на использовании интегральных показателей, характеризующих индивидуальное состояние организма человека и особенности протекания КИНК. Однако в этих работах отсутствует обоснование выбора адекватных схем профилактики гангрены нижних конечностей, что снижает эффективность борьбы с этим заболеванием.

### Модели и методы

Результаты, предлагаемые в данной работе, основываются на шестилетнем (с 2011 года) наблюдением за 400 больными с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей, у части которых имелась гангрена нижних конечностей (ГНК) различной степени тяжести.

Исследования в виде разведочного анализа проводились с использованием традиционных статистических методов, реализуемых программой STATISTICA 6.0 фирмы "Stat Soft Russia", с привлечением методов теории измерения латентных переменных [6,10,13,15,16,17,18,19], алгоритмов метода группового учёта аргументов [6,20,21], модификаций методов разведочного анализа, ориентированного на синтез гибридных нечётких решающих правил [22,23,24,25]. В работах [2,5,6,7,11] было показано, что одной из актуальных задач, связанных с повышением качества медицинского обслуживания больных с ГНК является достаточно

точная оценка возможности появления и развития гангрены нижних конечностей. В свою очередь своевременный и точный прогноз позволит выбирать адекватные схемы профилактики и лечения, снижая риски инвалидизации, ампутации и смерти.

В работе [5] для прогнозирования возникновения ГНК предлагается использовать модификацию нечёткой накопительной модели Е. Шортлифа с расчётом показателя UGB, характеризующего уверенность в рецидиве гангрены по десяти информативным признакам  $x_1, x_2, \dots, x_{10}$ . Проведёнными нами исследованиями, было показано, что точность прогноза рецидива ГНК может быть значительно повышена, если совместно с показателем UGB использовать показатели, характеризующие: гемостазиологический (UGG) и иммунный (UGI) статус организма, энергетический разбаланс биологически активных точек (БАТ), связанных с кровоснабжением ног (UGBT), уровень длительного психоэмоционального напряжения (UGYH), методы получения неспецифических для традиционной медицины показателей UGBT и UGYH подробно описаны в работах [6,20,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35]. Каждый из этих показателей определяется "своей" группой информативных признаков  $x_i$ , для которых используя общие рекомендации по синтезу гибридных нечётких решающих правил [22,23,24,25] получены функции принадлежности  $\mu_{pr}(x_i)$  к классу  $\omega_{pr}$  - высокий риск рецидива гангрены нижних конечностей.

Каждый из введённых показателей  $UG_r$  ( $r=B, G, I, BT, YH$ ) определяется с использованием модифицированной формулы Е. Шортлифа

$$UG_r(q+1)=UG_r(p)+\mu_{pr}(x_{i+1})[1-UG_r(p)], \quad (1)$$

где  $q$ - номер итерации.

Для каждого показателя  $UG_r$  определяется функция принадлежности  $\mu_r(Q_r)$ , где  $Q_1=UGB$ ;  $Q_2=UGG$ ;  $Q_3=UGI$ ;  $Q_4=UGBT$ ;  $Q_5=UGYH$ , а общая уверенность в риске рецидива ГНК определяется выражением

$$URR(p+1)=URR(p)+\mu_r(Q_{p+1})[1-URR(p)], \quad (2)$$

где  $URR(1)=\mu_r(UGB)$ .

Аналитически функции принадлежности к классу высокий риск рецидива гангрены нижних конечностей по комплексным показателям  $Q_p$  определяется выражением:

$$\mu_r(UGBT) = \begin{cases} 0,714 UGBT, & \text{если } UGBT < 0,35; \\ 0,25, & \text{если } UGBT \geq 0,35, \end{cases}$$

$$\mu_r(UGB) = \begin{cases} 0,9 UGB, & \text{если } UGBT < 0,5; \\ 0,45, & \text{если } UGBT \geq 0,5, \end{cases}$$

$$\mu_r(UGG) = \begin{cases} 0,273 UGG, & \text{если } UGB < 0,55; \\ 1,0 UGB - 0,4, & \text{если } 0,55 \leq UGG < 0,7; \\ 0,3, & \text{если } UGG \geq 0,7, \end{cases}$$

$$\mu_r(UGI) = \begin{cases} UGI, & \text{если } UGI < 0,25; \\ 0,25, & \text{если } 0,25 \leq UGI < 0,65; \\ 0,5 UGI - 0,075, & \text{если } 0,65 \leq UGI < 0,75; \\ 0,3, & \text{если } UGI \geq 0,75, \end{cases}$$

$$\mu_r(UGYH) = \begin{cases} 0,133 UGYH, & \text{если } UGYH < 0,75; \\ 2 UGYH - 1,4, & \text{если } 0,75 \leq UGYH < 0,8; \\ 0,2, & \text{если } UGYH \geq 0,8. \end{cases}$$

На шкале URR эксперты определили четыре класса риска рецидива ГНК:  $\omega_n$  - низкий;  $\omega_c$  - средний;  $\omega_o$  - высокий;  $\omega_b$  - очень высокий, для каждого из которых выбирается "своя" схема профилактики  $S_1, S_2, S_3, S_4$ . Выделенные схемы состояний определяются соответствующими функциями принадлежности с базовой переменной URR:  $\mu_n(URR)$ ,  $\mu_c(URR)$ ,  $\mu_o(URR)$ ,  $\mu_b(URR)$ .

Аналитически этот набор функций принадлежности описывается выражениями:

$$\mu_r(URR) = \begin{cases} 1, & \text{если } URR < 0,2; \\ -10 URR + 3, & \text{если } 0,2 \leq URR < 0,3; \\ 0, & \text{если } URR \geq 0,3, \end{cases}$$

$$\mu_c(URR) = \begin{cases} 0, & \text{если } URR < 0,2; \\ 10 URR - 2, & \text{если } 0,2 \leq URR < 0,3; \\ 1, & \text{если } 0,3 \leq URR < 0,5; \\ -10 URR + 6, & \text{если } 0,5 \leq URR < 0,6, \end{cases}$$

$$\mu_e(\text{URR}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{URR} < 0,5; \\ 10 \text{ URR} - 5, & \text{если } 0,5 \leq \text{URR} < 0,6; \\ 1, & \text{если } 0,6 \leq \text{URR} < 0,8; \\ -10 \text{ URR} + 9, & \text{если } 0,8 \leq \text{URR} < 0,9; \\ 0, & \text{если } \text{URR} \geq 0,9, \end{cases}$$

$$\mu_o(\text{URR}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{URR} < 0,8; \\ 10 \text{ URR} - 8, & \text{если } 0,8 \leq \text{URR} < 0,9; \\ 1, & \text{если } \text{URR} \geq 0,9. \end{cases}$$

Решение о классификации принимается в соответствии с выражением:

$$\Omega_c^R = \max \{ \mu_n(\text{URR}), \mu_c(\text{URR}), \mu_b(\text{URR}), \mu_o(\text{URR}) \}. \quad (3)$$

При выборе схем профилактики  $S_1, S_2, S_3, S_4$  следует иметь в виду, что их эффективность не может быть точно определена в результате прямых измерений, что совпадает с базовой посылкой теории измерения латентных переменных, в терминологии которой явно задаваемые экспертами схемы лечения являются индикаторными переменными, а их эффективность относится к категории латентных переменных. В работах [13,15,16,17,18,19,25] было показано, что индикаторные переменные с латентными переменными удобно описывать моделью Г. Раша:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \quad (4)$$

где  $P_{ij}$  – вероятность достижения медицинской цели (правильные прогноз или диагноз, степень тяжести заболевания, ожидаемый лечебный или профилактический эффект) у  $i$ -го пациента при анализе  $j$ -го признака (применение  $j$ -ой процедуры воздействия);  $\theta_i$  – эффективность достигаемой цели у  $i$ -го пациента;  $\beta_j$  – информативность (эффективность) использования  $j$ -го признака (воздействия).

Исследование роли индикаторных переменных в измерении латентных переменных удобно производить с помощью стандартного пакета диалоговых прикладных программ RUMM 2020 (*Rasch Unidimensional Measurement Models*) [16,20]. Используя значения индикаторных переменных переведенных в логиты (ось абсцисс), пакет

RUMM 2020 строит теоретические (характеристические) кривые модели Г.Раша. По оси ординат откладываются значения искомой латентной переменной в логитах (рисунок 1)

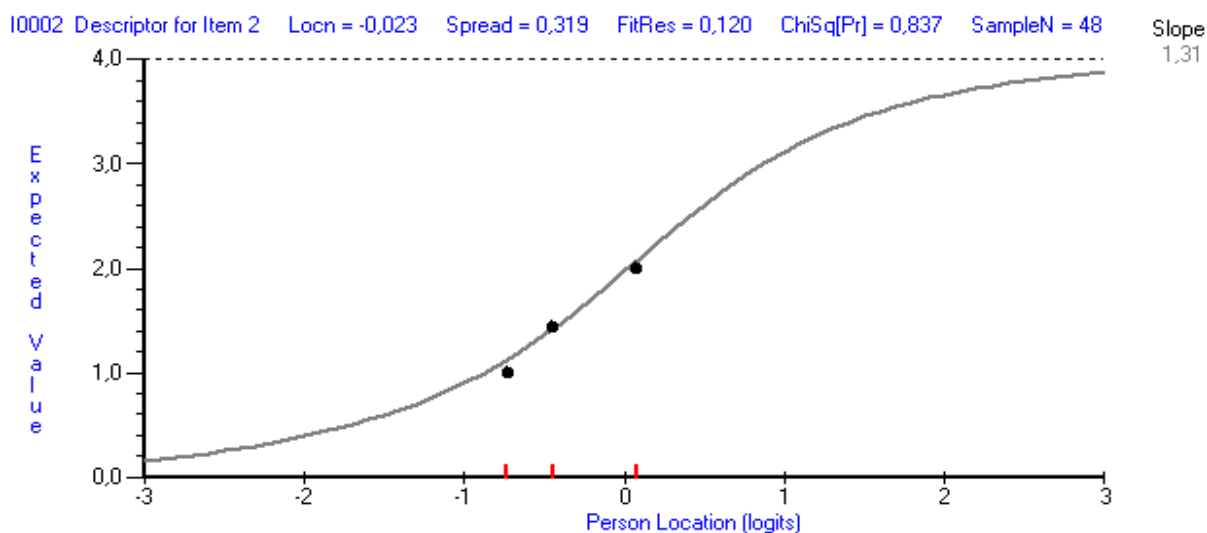


Рисунок 1. Пример характеристической кривой для индикатора  $x_i$

Исходная выборка данных, выраженная в логитах, разбивается на три примерно равные группы – с низким, средним и высоким уровнем измеряемых переменных. Внутри каждой группы определяются средние значения (оценка математического ожидания). Полученные средние значения на графике характеристической кривой изображаются точками (три точки на рисунке 1).

Используя критерий Хи – квадрат определяется соответствие теоретической кривой усреднённым точкам. Такое соответствие программа RUMM 2020 рассчитывает, как переменную  $ChiSq Prob$  ( $\chi^2_{критич. Prob}$ ). Если эта переменная больше некоторого порога, то считается, что индикаторная переменная корректно (с точки зрения модели Г. Раша) описывает исследуемую латентную переменную. И противном случае индикаторная переменная исключается из списка информативных признаков. В качестве порога предлагается использовать величину 0,05 ( $\chi^2_{критич. Prob} \geq 0,05$ )[15].

Кроме показателя  $ChiSq Prob$  ( $\chi^2_{критич. Prob}$ ) – степень соответствия индикаторных переменных модели измерения, полезным для анализа, являются такие показатели как  $Location$  – значения уровней значимости индикаторных переменных измеряемые в логитах;  $SE$  – погрешность измерения;  $FitResid$  – величина, характеризующая суммарное отклонение

значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели Г. Раша.

В работах [15,16,20] описан механизм анализа эффективности схем лечения с использованием пакета RUMM 2020. В соответствии с рекомендациями [6,8,20] выбор схем лечения после их анализа на эффективность реализуется продукционными правилами вида:

$$\text{ЕСЛИ } (\Omega_{\ell}^R), \text{ ТО } (S_{\ell}), \quad (5)$$

где  $S_{\ell}$  - схема лечения, соответствующая классу  $\omega_{\ell}$ .

### Результаты

В ходе проводимых исследований эксперты для каждого из выделенных классов, характеризующих степень риска рецидива ГНК, выбрали соответствующие схемы лечения, приведённые в таблице 1.

Таблица 1 Соответствие схем профилактики рискам возникновения ГНК

Класс риска	Схемы профилактики
$\Omega_{\ell}^R = \omega_H$	$S_1$ : физ. р-р 200,0 + 1000 мг актовегина в/в. №10; НМГ: клексан 0,4 2 р/сутки - №10. Рефортан 6% 500,0 в/в к. №10
$\Omega_{\ell}^R = \omega_c$	$S_2$ : физ. р-р 200,0 + 4,0 этоксидол в/вл №10; НМГ: клексан 0,4 п/к 2р/сутки №20, затем физ. р-р 200,0 + 4,0 вессел-дуэф в/в №10; РЭМЛ н/к
$\Omega_{\ell}^R = \omega_B$	$S_3$ : физ. р-р 200,0 + 4,0 этоксидола в/в №10; НМГ: клексан 0,4 п/к 2 р/ сутки №20, РЭМЛс; н/к, ХЛМС, затем физ. р-р 200,0+4,0 вессел –дуэф р-р в/в №10, физ. р-р 200,0+10,0 цитофлавина в/в № 10
$\Omega_{\ell}^R = \omega_O$	$S_4$ : физ. р-р 200,0 + 4,0 этоксидола в/в №10, физ. р-р 200,0+4,0 вессел – дуэф в/в №10; РЭМЛс; н/к; ХМЛС, затем НМГ, клексан 0,4 п/к 2 р/сутки №20, физ. р-р 200,0 + 100 мкг алпростана в/в к. №10

Для исследования эффективности схем лечения  $S_1, S_2, S_3, S_4$  три эксперта в соответствии с рекомендациями [6,15,20] составили таблицу их эффективности, фрагмент которой представлен Таблицей 2.

Таблица 2 - Значения эффективности индикаторных переменных схем профилактики по трём экспертам

пац иенты	экс перты	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
1	1	9	9	8	6
1	2	8	8	8	7
1	3	9	8	7	7
2	1	9	8	8	8
2	2	8	8	8	8
2	3	8	8	7	8
3	1	9	8	8	8
3	2	8	9	7	9
3	3	8	8	8	7
4	1	9	9	8	6
4	2	9	9	7	8
4	3	9	8	7	8

Результаты обработки данных пакетом RUMM 2020 приведены на Рисунок. 3,4.

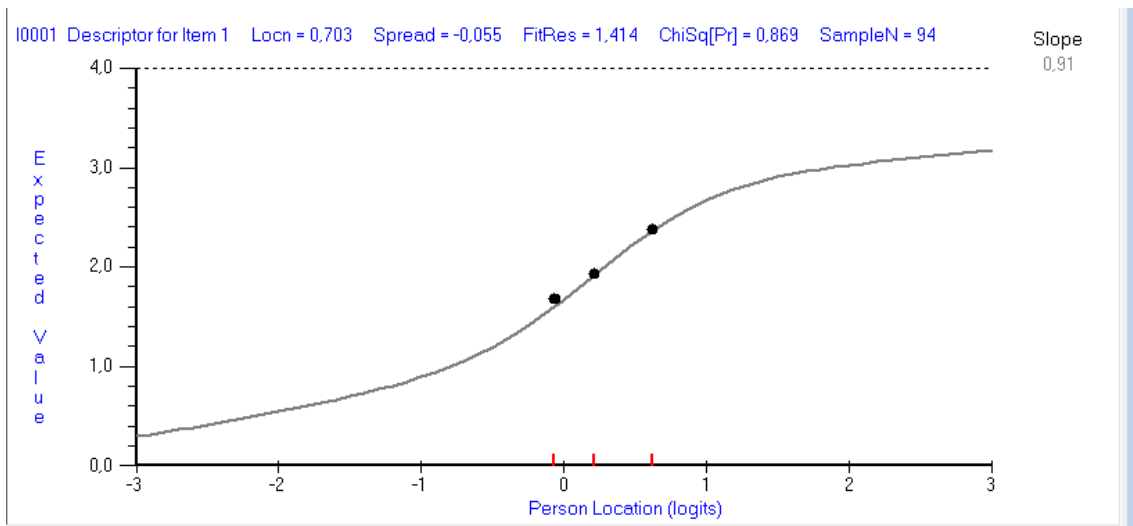
INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name Q024 - Chi Square Probability Order

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
1	1	I0001	Poly	0,703	0,101	1,414	66,75	0,282	2	0,868694
2	2	I0002	Poly	-0,023	0,083	0,380	66,75	0,894	2	0,639580
4	4	I0004	Poly	0,116	0,078	-0,746	66,75	4,773	2	0,091963
3	3	I0003	Poly	-0,796	0,148	0,545	66,75	7,428	2	0,024382

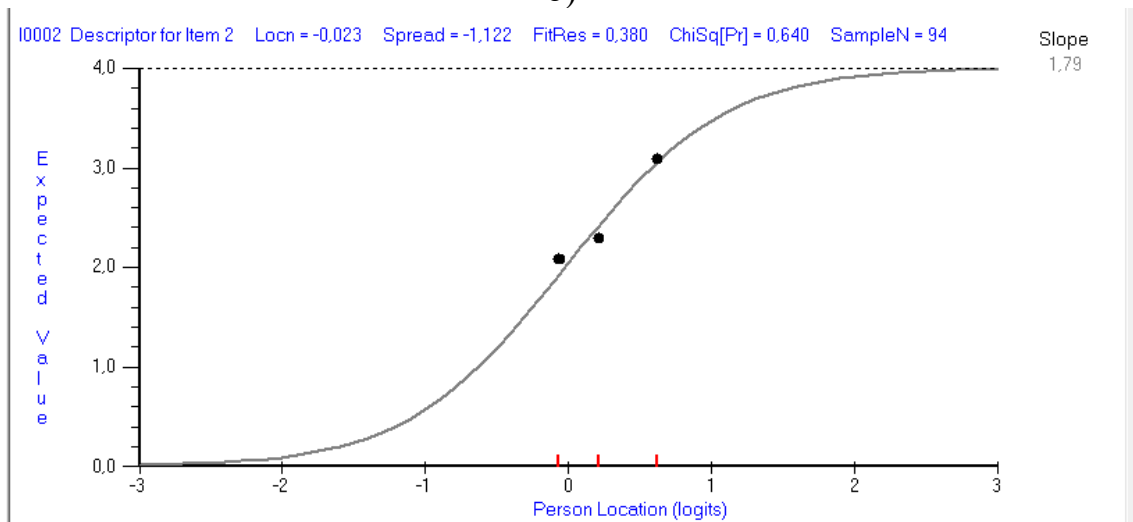
Рисунок 3 - Скриншот таблицы, ранжированной по  $\chi^2_{\text{критич.}}$  Prob.

а)

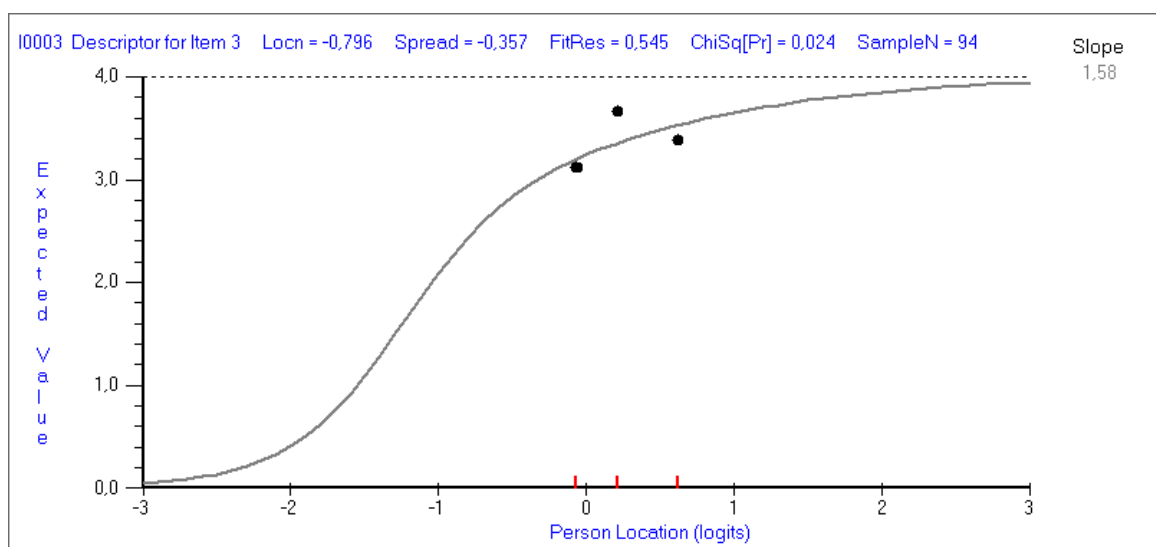




б)



в)



г)

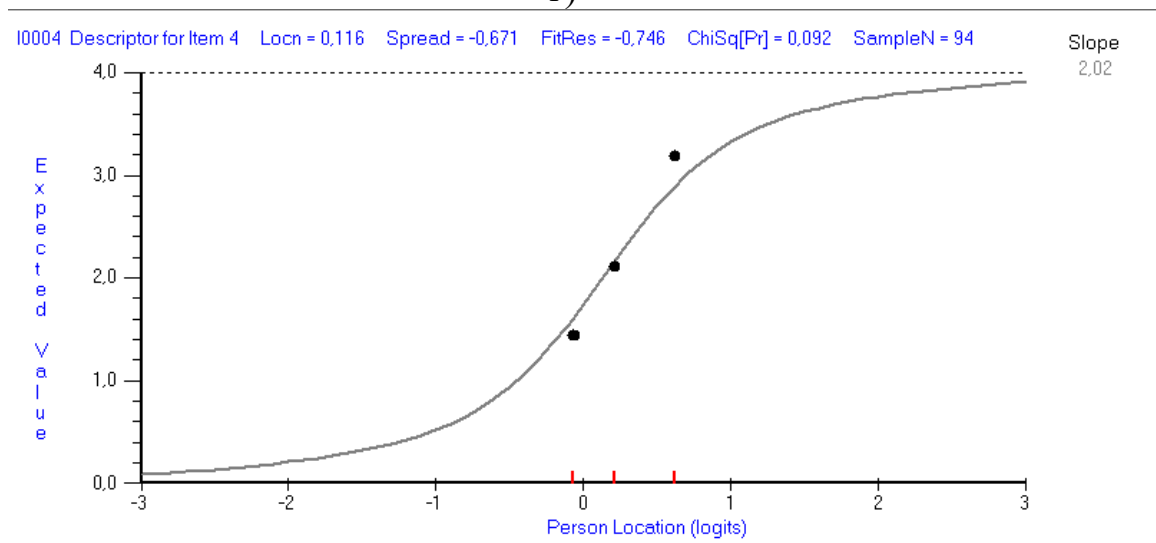


Рисунок 4 - Характеристические кривые: а) S<sub>1</sub>, б) S<sub>2</sub>, в) S<sub>3</sub>, г) S<sub>4</sub>

Анализ результатов работы программы RUMM 2020 показал, что три из четырёх схем лечения имеют  $\chi^2_{\text{критич.}} \text{Prob} > 0,05$ . Следовательно, с точки зрения модели Г. Раша, эти схемы достаточно надёжно характеризуют латентную переменную «эффективность лечения». Для схемы лечения S<sub>3</sub>  $\chi^2_{\text{критич.}} \text{Prob} = 0,024$ , что свидетельствует о более низкой эффективности этой схемы по сравнению с остальными. Однако анализ графика рисунка 4, показывает, что хотя эта схема лечения и менее эффективна, чем все остальные, она не даёт отрицательных результатов и, следовательно, имеет право на исследование. В дальнейших исследованиях планируется коррекция этой схемы доступными средствами.

С учётом полученных результатов выбор схем профилактики рецидива ГНК определяется набором продукционных правил вида

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ЕСЛИ } (\Omega_{\ell}^R = \omega_H), \text{ ТО } (S_1), \\ \text{ЕСЛИ } (\Omega_{\ell}^R = \omega_B), \text{ ТО } (S_2), \\ \text{ЕСЛИ } (\Omega_{\ell}^R = \omega_C), \text{ ТО } (S_3), \\ \text{ЕСЛИ } (\Omega_{\ell}^R = \omega_O), \text{ ТО } (S_4), \end{array} \right. \quad (6)$$

Эффективность модели (6) выбора схем профилактики проверялась в соответствии с традиционными схемами ведения пациентов с ГНК [3,4]. В ходе сопоставительного анализа было установлено, что по сравнению с традиционными схемами лечения использование предлагаемого алгоритма по различным критериям оценки эффективности позволяет сократить возможность рецидива (повторных измерений на 42%, риск ампутации на 35%).

### Заключение

Полученные в работе математические модели позволяют дифференцировать степень риска рецидива ГНК: низкий, средний, высокий, очень высокий. Для выделенных классов разработана модель выбора адекватных схем профилактики (всего 4 схемы). В ходе проведённых статистических испытаний было показано, что по сравнению с традиционными схемами профилактики использование предлагаемого алгоритма позволяет сократить возможность рецидива (повторных измерений на 42%, риск ампутации на 35%).

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 медицинские системы.

Широкое внедрение полученных результатов в медицинскую практику позволит дифференцировать состояние пациентов с высоким риском рецидива ГНК, выбирая адекватные схемы профилактики, а в случае развития критических состояний позволяет подобрать адекватную процессу нарастания некробиотических изменений в ишемизированной конечности схему лечения. Своевременная и адресная, узко специфичная помощь сохраняет опорную функцию конечности, даже при органосохраняющей ампутации, что снизит госпитализацию больных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Быков, А.В. Модель оценки эффективности медикаментозного лечения критической ишемии нижних конечностей [Текст] / А.В. Быков // Наука, образование, общество: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2016 г. Ч. 2. Тамбов ООО Консалтинговая компания ЮКОМ, 2016. – С. 19-22.
2. Быков, А.В. Выбор и обоснование рациональных схем лечения пациентов с сочетанной ишемической патологией различных органов [Текст] / А.В. Быков, Е.А. Бойцова, С.Н. Корневская, Е.А. Кониченко // Системный анализ и управление в биотехнических системах, 2017. - №2. – С. 254-260.
3. Савельев В.С., Кошкин В.М., Каралкин А.В. Патогенез и консервативное лечение тяжёлых стадий облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей: Руководство для врачей. - М.: ООО Медицинское информационное агентство. 2010. - 216 с.
4. Сосудистая хирургия. Национальное руководство. Краткое издание/ под ред. В.С. Савельева, А.И. Кириенко. - М.: ГЭОТАР - Медиа, 2014. - 464 с.
5. Быков, А.В. Прогнозирование возникновения и развития гангрены нижних конечностей на основе нечетких моделей принятия решений [Текст] / А.В. Быков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2017. - №4 (25). - С. 95-103.
6. Быков, А.В. Прогнозирование появления и развития гангрены нижних конечностей с использованием нечетких интеллектуальных технологий: монография / А.В. Быков, С.Н. Корневская, С.А. Пархоменко, Л.В. Стародубцева, И.И. Хрипина. – Курск: «Издательский дом ВИП», 2017. – 420 с.
7. Быков, А.В. Оптимизация схем лечения больных критической ишемией нижних конечностей на фоне сахарного диабета [Текст] / А.В. Быков, Н.А. Корневский, И.И. Хрипина, С.А. Пархоменко // Сахарный диабет и хирургические инфекции. Сборник научных трудов 3-го научно-практического конгресса. – М.: Издательство «Перо», 2017. – С. 38-40.
8. Быков, А.В. Оценка эффективности и выбор схем лечения при сочетанных ишемических поражениях в условиях доминирующей сердечной патологии [Текст] / А.В. Быков, Е.А. Бойцова, С.Н. Корневская, С.А. Пархоменко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2018. -Т. 17. - № 1. - С.114-122.

9. Быков, А.В. Синтез нечеткой математической модели оценки степени тяжести ишемического процесса нижних конечностей по показателям гемостаза [Текст] / А.В. Быков, Н.А. Корневский, Е.А. Бойцова, С.А. Пархоменко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2018. -Т. 17. - № 1. - С.92-100.
10. Быков, А.В. Обоснование выбора схем лечения сочетанных ишемических процессов с ведущей патологией нижних конечностей с использованием теории измерения латентных переменных [Текст] / А.В. Быков, Н.А. Корневский, Е.А. Бойцова, О.В. Филатова // Известия Юго-Западного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2017. - №1 (22). – С.100-113.
11. Быков, А.В. Оптимизация схем профилактики критической ишемии нижних конечностей на основе нечетких моделей оценки динамики развития этого заболевания [Текст] / А.В. Быков, Н.А. Корневский, С.А. Пархоменко, Т.Н. Говорухина, З.У. Зейдан // Электронный научно-образовательный вестник Здоровье и образование в XXI веке, 2017. - Т. 19. - № 12. - С. 64-67.
12. Быков, А.В. Использование интеллектуальных технологий при ведении больных с критической ишемией нижних конечностей [Текст] / А.В. Быков, Н.А. Корневский, И.И. Хрипина, С.А. Пархоменко // Сборник тезисов, «Кардиостим-2018», Санкт-Петербург, 15-17 февраля, 2018. - С. 54.
13. Быков, А.В. Оценка уверенности в развитии гангрены нижних конечностей на основе моделей Г. Раша и Е. Шортлифа [Текст] / А.В. Быков, С.А. Пархоменко, А.В. Бойцов, И.И. Хрипина // Системный анализ и управление в биотехнических системах, 2017. – Т. 16 -№4. – С. 878-883.
14. Быков, А.В. Нечеткий алгоритм прогноза развития ишемической болезни конечностей для различных этапов ведения пациента / А.В. Быков, Н.А. Корневский, А.Г. Устинов [Текст] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2016. – №2(19). – С. 142-155.
15. Бойцов, А.В. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека [Текст] / 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.

16. Кореневский, Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша [Текст] / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова // Медицинская техника, 2015, №6. - С. 37-40.
17. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword by Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980.-199p.
18. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004.- 689p.
19. Smith R.M. Rasch Measurement Models: Interpreting WINSTEPS/BIGSTEPS and Facets Output. – Gainesville, Florida: JAM Press, 1995.
20. Кореневский, Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография [Текст] / А.Н. Шуткин., С.А. Горбатенко, В.В. Серебровский // Старый Оскол: ТНТ. - 2015. -472 с.
21. Кореневкий, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний [Текст] / Н.А. Коренеский, М.В. Артеменко, В.Н. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2014. – Т13. – №4. – С.881-886.
22. Кореневский, Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования. [Текст] / Н.А. Кореневский // Телекоммуникации, 2006. - №6. - С.25-31.
23. Кореневский, Н.А. Синтез коллективов гибридных нечётких моделей оценки состояния сложных систем / Н.А. Кореневский, К.В. Разумова // Научноёмкие технологии, 2014. - Т.15. - №12. - С.31-40.
24. Шуткин, А.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечётких правил. [Текст] / А.Н. Шуткин, С.Н. Кореневская, В.В. Федякин // Информационные проекты в медицине и педагогике. Материалы международной научно-практической конференции. 2014. - С.61-64.
25. Korenevskiy, N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert System [text] / N.A. Korenevskiy // Biomedical Engineering, May 2015, Volume 49, Issue 1, pp 46-49.
26. Гадалов, В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний [Текст] / В.Н. Гадалов, Н.А. Кореневский, В.Н. Снопков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012.- Т.11.- №2.-С.515-521.

27. Конева, Л.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека [Текст] / С.Н. Корневская, С.В. Дегтярев // Системный анализ. Т.11.-№4.-2012.-С.993-1000.
28. Корневская, С.Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом [Текст] / С.Н. Корневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника . 2016. - №5 - С. 24-27.
29. Корневский, Н.А. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики [Текст] / Н.А. Корневский, Л.П. Лазурина // ОМЦП. Курск, 2000, 177 с.
30. Корневский, Н.А. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей [Текст] / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников, Р.Т. Аль-Касасбех.// Старый Оскол: ТНТ, 2013.-528с.
31. Корневский, Н.А. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения. [Текст] / Н.А. Корневский, О.И. Филатова, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. - №5, С .4-9.
32. Korenevskiy N. A., Fuzzy determination of the human's level of psychoemotional [text] / N. A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Lonescouc, E. Alkasasbeh, A.P. Smith. // IFMBE Proceeding Ser. 4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam, 2013 С. 213-216.
33. Al-Kasasbeh R.T., Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characterisrics of acupuncture points and fuzzy logic [text] / R.T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. A. Korenevskiy, A. Kusmin, F. Lonescouc // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering , 2012, Т. 15. № 7 С. 681-689.
34. Al-Kasasbeh R.T., Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making [text] / N. A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Lonescouc, A.P. Smith // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2013 Т.16. № 3 С. 302-313.
35. Korenevskiy N. A., System for studying specific features of attention and memory [text] / N. A. Korenevskiy, D.E. Skopin, A.A. Kusmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering, 2010. Т. 44. № 1. С. 32-35.

A.V. Bykov, N.A. Korenevsky, S.A. Parkhomenko, L.V. Starodubtseva,  
E.N. Korenevskaya

**MATHEMATICAL MODELS OF THE CHOICE OF THE PATTERNS  
OF PREVENTION OF THE RECURRENCE OF GANGRENE OF THE  
LOWER LIMBS**

*FSBEI of HE "South-West State University"*

*The work is devoted to the actual problem of improving the quality of care for patients suffering from critical ischemia of the lower extremities, turning into gangrene, which may result in amputation and even death. In the course of the research it was shown that the task of predicting the recurrence of lower extremity gangrene belongs to the class of poor results, which was the basis for choosing the method of synthesis of hybrid fuzzy decision rules as the basic method for studying the methodological synthesis. During the synthesis of fuzzy decision rules, the choice of informative features obtained during surveys and inspections, instrumental and laboratory research methods was justified. As the basic elements of fuzzy decision rules applied to a class of high risk of gangrene recurrence, which are aggregated into a fuzzy rule for assessing the confidence that the patient will have a relapse of the lower extremities. : Scale of confidence in the development of gangrene: - confidence in the recurrence of gangrene; II-medium confidence in the recurrence of gangrene; III - high confidence in the recurrence of gangrene; IV - very high confidence in the recurrence of gangrene. The classification decision is made based on the maximum value of the prediction functions. For each of the selected classes, the appropriate scheme for the prevention of lower extremity gangrene recurrence, whose effectiveness was tested using measurement theory, as well as the analyzed mathematical model of their choice depending on the degree of lower extremity gangrene recurrence. In the course of statistical tests, it was shown that, compared with traditional schemes to prevent the use of the proposed technologies, increase the rate of positive results by 2.4 times (58%) and reduce the risk of limb amputation by 2.5 times (73%). The results obtained guarantee the proposed mathematical models for use in the practice of vascular surgeons and angiologists.*

**Keywords:** gangrene, lower limbs, prediction, mathematical model, fuzzy logic, prevention, model G. Rush.

**REFERENCES**

36. Bykov, A.V. Model' otsenki effektivnosti medikamentoznogo lecheniya kriticheskoy ishemii nizhnikh konechnostey [Tekst] / A.V. Bykov // Nauka, obrazovanie, obshchestvo: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 30 sentyabrya 2016 g. Ch. 2. Tambov OOO Konsaltingovaya kompaniya YuKOM, 2016. – pp.19-22.
37. Bykov, A.V. Vybor i obosnovanie ratsional'nykh skhem lecheniya patsientov s sochetannoy ishemicheskoy patologией razlichnykh organov [Tekst] / A.V. Bykov, E.A. Boytsova, S.N. Korenevskaya, E.A. Konichenko // Sistemnyy analiz i upravlenie v biotekhnicheskikh sistemakh, 2017. - No.2. – pp.254-260.



38. Savel'ev V.S., Koshkin V.M., Karalkin A.V. Patogenez i konservativnoe lechenie tyazhelykh stadiy obliteratedyushchego ateroskleroza arteriy nizhnikh konechnostey: Rukovodstvo dlya vrachey. - M.: OOO Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo. 2010. - 216 s.
39. Sosudistaya khirurgiya. Natsional'noe rukovodstvo. Kratkoe izdanie/ pod red. V.S. Savel'eva, A.I. Kirienko. - M.: GEOTAR - Media, 2014. - 464 s.
40. Bykov, A.V. Prognozirovaniye vozniknoveniya i razvitiya gangreny nizhnikh konechnostey na osnove nechetkikh modeley prinyatiya resheniy [Tekst] / A.V. Bykov // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie, 2017. - No.4 (25). - pp.95-103.
41. Bykov, A.V. Prognozirovaniye poyavleniya i razvitiya gangreny nizhnikh konechnostey s ispol'zovaniem nechetkikh intellektual'nykh tekhnologiy: monografiya / A.V. Bykov, S.N. Korenevskaya, S.A. Parkhomenko, L.V. Starodubtseva, I.I. Khripina. – Kursk: «Izdatel'skiy dom VIP», 2017. – 420 s.
42. Bykov, A.V. Optimizatsiya skhem lecheniya bol'nykh kriticheskoy ishemiei nizhnikh konechnostey na fone sakharnogo diabeta [Tekst] / A.V. Bykov, N.A. Korenevskiy, I.I. Khripina, S.A. Parkhomenko // Sakharnyy diabet i khirurgicheskie infektsii. Sbornik nauchnykh trudov 3-go nauchno-prakticheskogo kongressa. – M.: Izdatel'stvo «Pero», 2017. – pp.38-40.
43. Bykov, A.V. Otsenka effektivnosti i vybor skhem lecheniya pri sochetannykh ishemicheskikh porazheniyakh v usloviyakh dominiruyushchey serdechnoy patologii [Tekst] / A.V. Bykov, E.A. Boytsova, S.N. Korenevskaya, S.A. Parkhomenko // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh, 2018. -Vol.17. - No. 1. - S.114-122.
44. Bykov, A.V. Sintez nechetkoy matematicheskoy modeli otsenki stepeni tyazhesti ishemicheskogo protsessa nizhnikh konechnostey po pokazatelyam gemostaza [Tekst] / A.V. Bykov, N.A. Korenevskiy, E.A. Boytsova, S.A. Parkhomenko // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh, 2018. -Vol.17. - No. 1. - S.92-100.
45. Bykov, A.V. Obosnovaniye vybora skhem lecheniya sochetannykh ishemicheskikh protsessov s vedushchey patologiei nizhnikh konechnostey s ispol'zovaniem teorii izmereniya latentnykh peremennykh [Tekst] / A.V. Bykov, N.A. Korenevskiy, E.A. Boytsova, O.V. Filatova // Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie, 2017. - No.1 (22). – S.100-113.
46. Bykov, A.V. Optimizatsiya skhem profilaktiki kriticheskoy ishemii nizhnikh konechnostey na osnove nechetkikh modeley otsenki dinamiki razvitiya etogo zabolevaniya [Tekst] / A.V. Bykov, N.A. Korenevskiy, S.A. Parkhomenko, T.N. Govorukhina, Z.U. Zeydan // Elektronnyy nauchno-

- obrazovatel'nyy vestnik Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke, 2017. - Vol.19. - No. 12. - pp.64-67.
47. Bykov, A.V. Ispol'zovanie intellektual'nykh tekhnologiy pri vedenii bol'nykh s kriticheskoy ishemiey nizhnikh konechnostey [Tekst] / A.V. Bykov, N.A. Korenevskiy, I.I. Khripina, S.A. Parkhomenko // Sbornik tezisov, «Kardiostim-2018», Sankt-Peterburg, 15-17 fevralya, 2018. - pp.54.
  48. Bykov, A.V. Otsenka uverenosti v razvitii gangreny nizhnikh konechnostey na osnove modeley G. Rasha i E. Shortlifa [Tekst] / A.V. Bykov, S.A. Parkhomenko, A.V. Boytsov, I.I. Khripina // Sistemnyy analiz i upravlenie v biotekhnicheskikh sistemakh, 2017. – Vol.16 -No.4. – pp.878-883.
  49. Bykov, A.V. Nechetkiy algoritm prognoza razvitiya ishemicheskoy bolezni konechnostey dlya razlichnykh etapov vedeniya patsienta / A.V. Bykov, N.A. Korenevskiy, A.G. Ustinov [Tekst] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie, 2016. – No.2(19). – pp.142-155.
  50. Boytsov, A.V. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Tekst] / 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.
  51. Korenevskiy, N.A. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modeley G. Rasha [Tekst] / N.A. Korenevskiy, A.N. Shutkin, E.A. Boytsova // Meditsinskaya tekhnika, 2015, No.6. - pp.37-40.
  52. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword by Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980.-199p.
  53. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004.- 689p.
  54. Smith R.M. Rasch Measurement Models: Interpreting WINSTEPS/BIGSTEPS and Facets Output. – Gainesville, Florida: JAM Press, 1995.
  55. Korenevskiy, N.A. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologiy: monografiya [Tekst] / A.N. Shutkin., S.A. Gorbatenko, V.V. Serebrovskiy // Staryy Oskol: TNT. - 2015. -472 s.
  56. Korenevkiy, N.A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil na osnove modeley sistemnykh vzaimosvyazey dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevaniy [Tekst] / N.A. Koreneskiy, M.V. Artemenko, V.N. Provotorov, L.A. Novikova // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh, 2014. – T13. – No.4. – S.881-886.

57. Korenevskiy, N.A. Proektirovanie sistem prinyatiya resheniy na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoj diagnostiki i prognozirovaniya. [Tekst] / N.A. Korenevskiy // Telekommunikatsii, 2006. - No.6. - S.25-31.
58. Korenevskiy, N.A. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modeley otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem / N.A. Korenevskiy, K.V. Razumova // Naukoemkie tekhnologii, 2014. - T.15. - No.12. - S.31-40.
59. Shutkin, A.N. Proektirovanie baz znaniy meditsinskikh ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechetkikh pravil. [Tekst] / A.N. Shutkin, S.N. Korenevskaya, V.V. Fedyakin // Informatsionnye proekty v meditsine i pedagogike. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2014. - S.61-64.
60. Korenevskiy, N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert System [text] / N.A. Korenevskiy // Biomedical Engineering, May 2015, Volume 49, Issue 1, pp 46-49.
61. Gadalov, V.N. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevaniy [Tekst] / V.N. Gadalov, N.A. Korenevskiy, V.N. Snopkov // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh, 2012.-T.11.-No.2.-S.515-521.
62. Koneva, L.V. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka [Tekst] / S.N. Korenevskaya, S.V. Degtyarev //Sistemnyy analiz. T.11.-No.4.-2012.-S.993-1000.
63. Korenevskaya, S.N. Apparatno-programmnyy kompleks dlya psikhofiziologicheskikh issledovaniy na baze platformy ANDROID s AFE-interfeysom [Tekst] / S.N. Korenevskaya, E.S. Shkatova, M.A. Magerovskiy, A.N. Shutkin // Meditsinskaya tekhnika . 2016. - No.5 - pp.24-27.
64. Korenevskiy, N.A. Energoinformatsionnye modeli refleksodiagnostiki [Tekst] / N.A. Korenevskiy, L.P. Lazurina // OMTsP. Kursk, 2000, 177 s.
65. Korenevskiy, N.A. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modeley [Tekst] / N.A. Korenevskiy, R.A. Krupchatnikov, R.T. Al'-Kasasbekh.// Staryy Oskol: TNT, 2013.-528s.
66. Korenevskiy, N.A. Kompleksnaya otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya. [Tekst] / N.A. Korenevskiy, O.I. Filatova, M.I. Lukashov, R.A. Krupchatnikov // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2009. - No.5, S .4-9.
67. Korenevskiy N. A., Fuzzy determination of the human's level of psychoemotional [text] / N. A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, M.

- Alshamasin, F. Lonescouc, E. Alkasasbeh, A.P. Smith. // IFMBE Proceeding Ser. 4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam, 2013 C. 213-216.
68. Al-Kasasbeh R.T., Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characterisrics of acupuncture points and fuzzy logic [text] / R.T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. A. Korenevskiy, A. Kusmin, F. Lonescouc // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering , 2012, Vol.15. No. 7 C. 681-689.
69. Al-Kasasbeh R.T., Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making [text] / N. A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Lonescouc, A.P. Smith // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2013 T.16. No. 3 C. 302-313.
70. Korenevskiy N. A., System for studying specific features of attention and memory [text] / N. A. Korenevskiy, D.E. Skopin, A.A. Kusmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering, 2010. Vol.44. No. 1. pp.32-35.