

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-2-135-148>

Прогнозирование степени тяжести ишемии поражённого органа на основании обменных нарушений

С. В. Корогодина¹, А. В. Полякова¹, П. С. Азарова¹, А. В. Винников¹,
А. В. Быков¹, Е. В. Цымбал², Н. А. Кореневский¹ ✉

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Центральный военный клинический госпиталь им. А. А. Вишневого Минобороны России
ул. Светлая 11, г. Красногорск 143409, Московская область, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Резюме

Целью исследования является повышение качества прогнозирования степени тяжести ишемии поражённого органа путем разработки нечетких математических моделей, в качестве предикторов которых используется описание процессов обменных нарушений.

Методы. В ходе разведочного анализа было установлено, что прогнозируемые классы состояний имеют нечеткую структуру с пересекающимися границами классов. С учетом этого в качестве базового математического аппарата использовалась методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, хорошо зарекомендовавшая себя при решении задач с аналогичной структурой данных.

Результаты. При проведении исследований были синтезированы математические модели прогнозирования степени тяжести ишемических нарушений и получены соответствующие функции принадлежности для оценки степени тяжести ишемии поражённого органа для каждого из признаков. Экспертное оценивание и математическое моделирование показали, что уверенность в правильном принятии решений по прогнозу тяжести ишемии поражённого органа превышает величину 0,9.

Заключение. Разработанный алгоритм позволил в 90% случаев избежать развития сердечно-сосудистых осложнений в виде инфаркта миокарда, острого нарушения мозгового кровообращения и гангрены нижних конечностей, что позволяет рекомендовать его применение в клинической практике кардиологов и сердечно-сосудистых хирургов.

Ключевые слова: ишемия; обменные нарушения; прогнозирование; математическая модель; нечеткая логика принятия решений.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Прогнозирование тяжести ишемии поражённого органа на основании обменных нарушений / С. В. Корогодина, А. В. Полякова, П. С. Азарова, А. В. Винников, А. В. Быков, Е. В. Цымбал, Н. А. Кореневский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 2 С. 145–159. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-2-135-148>.

Поступила в редакцию 28.03.2022

Подписана в печать 25.04.2022

Опубликована 27.06.2022

© Корогодина С. В., Полякова А. В., Азарова П. С., Винников А. В., Быков А. В.,
Цымбал Е. В., Кореневский Н. А., 2022

Prediction of the Severity of Ischemia of the Affected Organ on the Basis of Metabolic Disorders

Sofya V. Korogodina¹, Angelina V. Polyakova¹, Polina S. Azarova¹,
Artem V. Vinnikov¹, Alexdander V. Bykov¹, Evgeny V. Tsymbal²,
Nikolay A. Korenevsky¹ ✉

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² 3 A. A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital of the Russian Ministry of Defense
11 Svetlyaya Str., Krasnogorsk 143409, Moscow Region, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Abstract

The purpose of research is to develop a method that allows predicting the severity of ischemia of the affected organ on the basis of metabolic disorders (PION) based on the use of such indicators as: base deficiency (DO), blood glucose (GC), potassium (K), sodium (Na), blood bicarbonate (BCC), partial CO₂ voltage (PNUG), blood pH, aldosterone.

Methods. In the course of the work, an exploratory analysis was carried out using the method of group accounting of arguments (MGUA) and the theory of latent variables with the Rush model was used. As a basic mathematical apparatus, the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules was used, which proved itself well when solving problems with a fuzzy description of the classes under study.

Results. During the research, mathematical models for predicting the severity of ischemic disorders were synthesized and appropriate membership functions were obtained to assess the severity of ischemia of the affected organ for each of the signs. Expert evaluation and mathematical modeling have shown that confidence in the correct decision-making on the prognosis of the severity of ischemia of the affected organ exceeds 0.9.

Conclusion. The developed algorithm made it possible in 90% of cases to avoid the development of cardiovascular complications in the form of myocardial infarction, acute cerebrovascular accident and gangrene of the lower extremities, which makes it possible to recommend its use in clinical practice of cardiologists and cardiovascular surgeons.

Keywords: ischemia; metabolic disorders; forecasting; mathematical model; fuzzy logic of decision-making.

Conflict of interest: The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Korogodina S.V., Polyakova A.V., Azarova P.S., Vinnikov A.V., Bykov A.V., Tsymbal E.V., Korenevskiy N. A. Prediction of the Severity of Ischemia of the Affected Organ Based on Metabolic Disorders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. *Medical Instruments Engineering*. 2022; 12(2): 135–148. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-2-135-148>.

Received 28.03.2022

Accepted 25.04.2022

Published 27.06.2022

Введение

Основными причинами ишемического поражения органов являются атеросклероз и осложнённый сахарный

диабет. При недостатке O₂ для поддержания энергетического баланса активно развивается гликолиз с образованием в большом количестве молочной кислоты, которая определяется в организме как

лактат [1; 2]. Последний активно влияет на кислотно-основное состояние крови (КОС), смещая показатель рН в сторону его уменьшения. Нижней границей нормы рН является 7,35. Увеличение лактата приводит в первую очередь к росту дефицита оснований (норма – 9-13 мэкв/л) и ацидемии. При этом нормальном буферном влиянии рН может длительное время не изменяться. При этом организм отвечает рядом защитных реакций, чтобы сохранить рН в нормальном диапазоне. Во-первых, происходит активизация дыхания и это отражается в виде снижения PaCO_2 (критическое снижение – до 10 мм рт. ст.) и концентрации HCO_3^- . Кроме того, меняется состояние электролитов крови. Как защитная реакция происходит трансмембранный антипорт протонов водорода на калий в направлении клеток, формируется гиперкалиемия, которая прогрессирует при нарушении толерантности к глюкозе (НТГ) и при наличии сахарного диабета (СД) в условиях дефицита инсулина. Гиперкалиемия провоцирует смещение рН ниже 7,35 с формированием метаболического ацидоза, что в свою очередь приводит к вторичному повышению глюкозы крови. Это состояние влияет на усиление осмодиуреза и задержки натрия. На фоне снижения альдостерона и повышения вазопрессина происходит массивная потеря калия с его выходом из клеток. Формируется состояние локального повышения калия с

повышением потенциала покоя клеток и системной гипокалиемии с высоким риском опасной для жизни аритмии с остановкой сердца. Локально возможно развитие некромиолиза с прогрессирующим выходом и потерей калия. Вторичный почечный и дыхательный алкалоз как защитная реакция ещё более обедняет организм калием. Поэтому, анализируя обменные нарушения, можно своевременно прогнозировать тяжёлые ишемические поражения жизненно важных органов (сердца, головного мозга и нижних конечностей).

Материалы и методы

В рандомизированном клиническом исследовании (РКИ) приняли участие 78 человек. Пациенты рандомизированы по возрасту, полу, по наличию распространённого атеросклероза, сахарного диабета, сердечной недостаточности. С учетом данных разведочного анализа в качестве базового математического аппарата была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), описанная в работах кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета [3; 4; 5; 6; 7; 8]. Эффективность использования этой методологии для решения задач оценки степени ишемического поражения различных органов и систем была показана в работах [8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22].

В рамках этой методологии был проведён разведочный анализ, в ходе которого были отобраны следующие информативные признаки: X_1 – содержание калия в крови; X_2 – содержание альдостерона; X_3 – уровень дефицита оснований; X_4 – уровень бикарбоната крови; X_5 – уровень глюкозы крови; X_6 – уровень парциального напряжения CO_2 ; X_7 – pH крови; X_8 – содержание натрия в крови. На втором этапе исследований с участием экспертов, подготовленных в области синтеза гибридных нечетких решающих правил, были построены функции принадлежности к лингвистической переменной «степень уверенности в развитии ишемии» исследуемого органа – $\mu(X_i)$.

Эта функция отражает влияние каждого из признаков на оценку уверенно-

сти возникновения ишемии пораженного органа, причем увеличение функции $\mu(X_i)$ соответствует увеличению уверенности в том, что у пациента развивается ишемия пораженного органа, что позволяет для расчета показателя, характеризующего интегральную уверенность в риске появления ишемии UF , выбрать модифицированную формулу Е. Шортлифа [4; 5; 6; 7].

Результаты и их обсуждение

Искомые функции принадлежности к лингвистической переменной «степень уверенности в развитии ишемии» $\mu(X_i)$ специально подготовленная группа экспертов строила с использованием метода Дельфи. Примеры графиков полученных функций принадлежности приведены ниже (рис. 1-3).

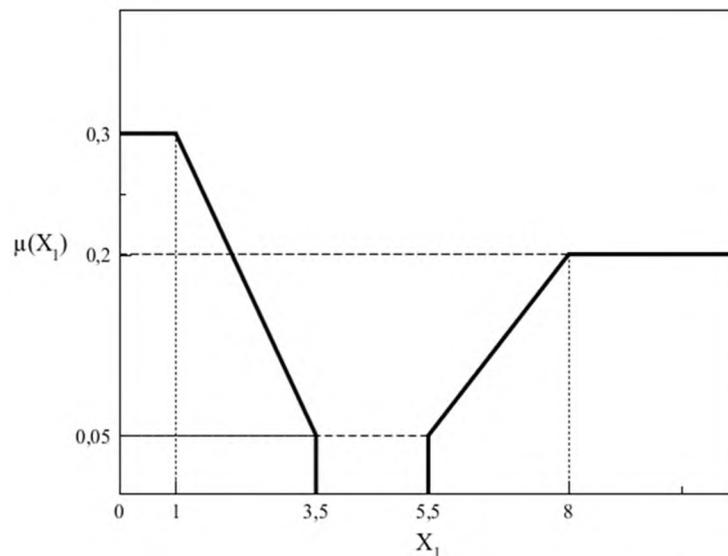


Рис. 1. График функции принадлежности $\mu(X_1)$

Fig. 1. Graph of the membership function $\mu(X_1)$

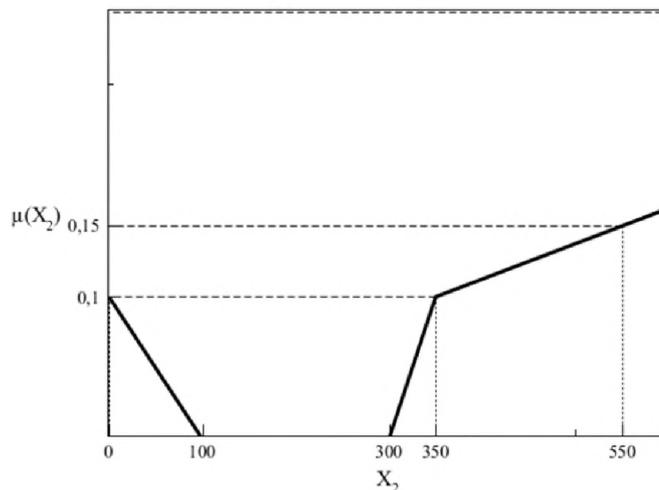


Рис. 2. График функции принадлежности $\mu(X_2)$

Fig. 2. Graph of the membership function $\mu(X_2)$

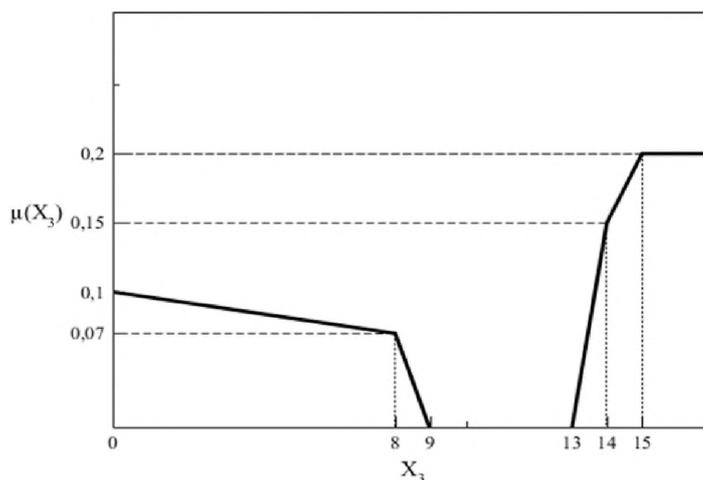


Рис. 3. График функции принадлежности $\mu(X_3)$

Fig. 3. Graph of the membership function $\mu(X_3)$

Аналитически данные графики функций принадлежности описываются следующими выражениями:

$$\mu(X_1) = \begin{cases} 0,3, & \text{если } X_1 < 1, \\ -0,1X_1 + 0,4, & \text{если } 1 \leq X_1 < 3,5, \\ 0, & \text{если } 3,5 \leq X_1 < 5,5, \\ 0,06X_1 - 0,28, & \text{если } 5,5 \leq X_1 < 8, \\ 0,2, & \text{если } X_1 \geq 8; \end{cases}$$

$$\mu(X_2) = \begin{cases} -0,001X_2 + 0,1, & \text{если } X_2 < 100, \\ 0, & \text{если } 100 \leq X_2 < 300, \\ 0,001X_2 - 0,3, & \text{если } 300 \leq X_2 < 350, \\ 0,0005X_2 - 0,125, & \text{если } 350 \leq X_2 < 550; \end{cases}$$

$$\mu(X_3) = \begin{cases} -0,00375X_3 + 0,1, & \text{если } X_3 < 8, \\ -0,07X_3 + 0,63, & \text{если } 8 \leq X_3 < 9, \\ 0, & \text{если } 9 \leq X_3 < 13, \\ 0,15X_3 - 1,95, & \text{если } 13 \leq X_3 < 14, \\ 0,05X_3 - 0,55, & \text{если } 14 \leq X_3 < 15, \\ 0,2, & \text{если } X_3 \geq 15. \end{cases}$$

Интегральная оценка уверенности в появлении и развитии ишемического поражения исследуемого органа определяется выражением

$$\begin{aligned} UF(q+1) &= \\ &= UF(q) + \mu(X_{i+1})[1 - UF(q)] \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, 8$; $UF(1) = \mu(X_1)$.

Анализ свойств полученной формулы позволил сделать вывод о том, что

численное значение UF может быть использовано для оценки степени тяжести прогнозируемого ишемического поражения. В связи с этим на экспертном уровне было предложено 4 класса прогнозируемой степени тяжести ишемии пораженного органа (I – отсутствие риска ишемического поражения; II – латентное состояние; III – реверсивное состояние; IV – критическое состояние). Используя показатель UF как базовую переменную, были получены графики функций принадлежности $\mu_r(UF)$ к выбранным классам степени тяжести (рис. 4).

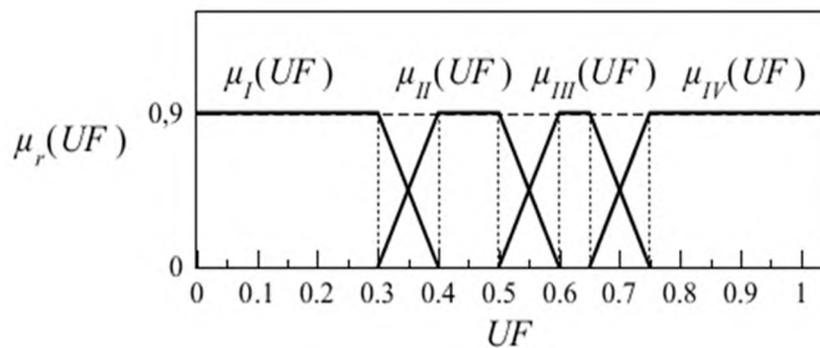


Рис. 4. Графики функций принадлежности, классифицирующих степени тяжести ишемии поражённого органа

Fig. 4. Graphs of accessory functions classifying the severity of ischemia of the affected organ

Аналитические выражения функций принадлежности $\mu_r(UF)$ имеют следующий вид:

$$\mu_1(UF) = \begin{cases} 0,9, & \text{если } UF < 0,3, \\ -9UF + 3,6, & \text{если } 0,3 \leq UF < 0,4, \\ 0, & \text{если } UF \geq 0,4; \end{cases}$$

$$\mu_{II}(UF) = \begin{cases} 0, & \text{если } UF < 0,3, \\ 9UF - 2,7, & \text{если } 0,3 \leq UF < 0,4, \\ 0,9, & \text{если } 0,4 \leq UF < 0,5, \\ -9UF + 5,4, & \text{если } 0,5 \leq UF < 0,6, \\ 0, & \text{если } UF \geq 0,6; \end{cases}$$

$$\mu_{III}(UF) = \begin{cases} 0, & \text{если } UF < 0,5, \\ 9UF - 4,5, & \text{если } 0,5 \leq UF < 0,6, \\ 0,9, & \text{если } 0,6 \leq UF < 0,65, \\ -9UF + 6,75, & \text{если } 0,65 \leq UF < 0,75, \\ 0, & \text{если } UF \geq 0,75; \end{cases}$$

$$\mu_{IV}(UF) = \begin{cases} 0, & \text{если } UF < 0,65, \\ 9UF - 5,85, & \text{если } 0,65 \leq UF < 0,75, \\ 0,9, & \text{если } UF \geq 0,75. \end{cases}$$

Решение о принадлежности к тому или иному классу UST принимается по величине максимального значения функции $\mu_r(UF)$:

$$UST = \max[\mu_I(UF), \mu_{II}(UF), \mu_{III}(UF), \mu_{IV}(UF)]. \quad (2)$$

В ходе экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что уверенность в правильном принятии решений по прогнозу тяжести ишемии поражённого органа превышает величину 0,9.

Выводы

Составленный алгоритм с достоверностью 0,9 позволяет прогнозировать степень тяжести ишемии поражённого органа на основании обменных нарушений. Таким образом, предложенный способ на основе критерия ПИОН позволил в 90% случаев в период наблюдения (1 год) избежать тяжёлых осложнений в виде инфаркта миокарда, острого нарушения мозгового кровообращения и гангрены нижних конечностей. По стандартным прогностическим шкалам было определено около 50-60% случаев, что свидетельствует о более высокой эффективности предлагаемого в данном исследовании способа и позволяет рекомендовать его применение в клинической практике кардиологов и сердечно-сосудистых хирургов.

Список литературы

1. Скворцов В. В., Скворцова Е. М., Бангаров Р. Ю. Лактат-ацидоз в практике врача – анестезиолога-реаниматолога // Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2020. № 3. С. 95-100.
2. Бородина Л. В. Ишемическая болезнь почек // Вестник молодого ученого. 2017. № 1. С. 36-41.
3. Корневский Н. А., Шуткин А. Н., Бойцова Е. А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
4. Корневский Н. А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12-20.

5. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.

6. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

7. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н. А. Корневский, М. В. Артеменко, В. Я. Провоторов, Л. А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 4. С. 881-886.

8. Бокерия Л. А., Быков А. В., Корневский Н. А. Оптимизация ведения пациентов с мультицентричным ишемическим поражением на базе нечетких интеллектуальных технологий: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 400 с.

9. Быков А. В. Метод и нечеткая модель оценки степени тяжести ишемической болезни центральной гемодинамической системы // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 4. С. 144-150.

10. Быков А. В. Метод оценки вариабельности показателей, характеризующих кровоснабжение стопы у больных с ишемической болезнью нижних конечностей // Современное научное знание: теория методология, практика: сборник материалов научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Смоленск: НОВАЛЕНСО, 2016. Ч. 1. С. 26-29.

11. Быков А. В. Прогнозирование возникновения и развития гангрены нижних конечностей на основе нечетких моделей принятия решений // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. № 4 (25). С. 95-103.

12. Быков А. В., Бойцов А. В., Родионов Д. С. Способ определения интенсивности болевого синдрома при ишемии головного мозга // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 3 (24). С. 91-100.

13. Интеллектуальная поддержка принятия решений при ведении пациентов с ишемией нижних конечностей на основе гибридных нечетких моделей / А. В. Быков, А. А. Бурмака, С. Н. Корневская, Д. С. Родионов // Медицинская техника. 2018. № 4 (310). С. 39-41.

14. Прогнозирование развития критического состояния кровообращения сердца на основе гибридных нечетких моделей / А. В. Быков, С. Н. Корневская, И. А. Комлев, Д. С. Родионов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 1 (26). С. 74-87.

15. Интеллектуальная поддержка ведения больных с системными ишемическими поражениями / А. В. Быков, С. Н. Корневская, С. А. Пархоменко, Д. С. Родионов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: труды XIII Международной научной конференции с научной молодежной школой имени И. Н. Спиридонова: 2 кн. М.: Графика, 2018. С. 334-336.

16. Быков А. В., Корневская С. Н., Пархоменко С. А. Система поддержки принятия решений для ведения больных с хроническим облитерирующим заболеванием артерий нижних конечностей, отягощенных ишемической патологией // Медико-экологические информационные технологии – 2018: сборник научных статей по материалам XXI Международной научно-технической конференции / отв. ред. Н. А. Корневский; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2018. С. 69-77.

17. 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. 470 с.

18. Быков А. В., Корневская С. Н., Родионов Д. С. Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени тяжести сочетанных ишемических патологий // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2017: сборник трудов XXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов / Рязанский государственный радиотехнический университет. Рязань, 2017. С. 297-300.

19. Оценка интенсивности болевого синдрома при ишемии сердца / А. В. Быков, Н. А. Корневский, Е. А. Бойцова, Р. Ю. Горяйнов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16, № 4. С. 848-856.

20. Метод и нечеткая модель оценки динамики развития критической ишемии нижних конечностей / А. В. Быков, Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, Е. В. Цымбал // Вестник новых медицинских технологий. 2018. Т. 25, № 4. С. 251-257.

21. Выбор схем лечебно-оздоровительных мероприятий для больных хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей с учетом системных взаимосвязей центральной и региональной гемодинамики / А. В. Быков, Н. А. Корневский, С. А. Пархоменко, С. Н. Родионова, Е. В. Цымбал // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2018. № 6. С. 105-114.

22. Пат. 2691932 Российская Федерация, МПК А61В5/02 G06F17/00 G01N33/48. Способ прогнозирования степени тяжести ишемического процесса сердца, головного мозга и нижних конечностей на основании оценки центральной и регионарной гемодинамики органов / Быков А. В., Корневский Н. А. Заявл. 18.05.17; опубл. 18.06.17, Бюл. № 17.

References

1. Skvorcov V. V., Skvorcova E. M., Bangarov R. Ju. Laktat-acidoz v praktike vracha – anesteziologa-reanimatologa [Lactate acidosis in the practice of an anesthesiologist-resuscitator]. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii = Bulletin of Anesthesiology and Resuscitation*, 2020, no. 3, pp. 95-100.
2. Borodina L. V. Ishemicheskaja bolezn' pochek [Ischemic kidney disease]. *Vestnik mladogo uchenogo = Bulletin of the Young Scientist*, 2017, no. 1, pp. 36-41.
3. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojцова E. A. Ocenka i upravlenie sostojaniem zdorov'ja na osnove modelej G. Rasha [Assessment and management of health status based on G. Rush models]. *Medicinskaja tehnika = Medical Equipment*, 2015, no. 6, pp. 37-40.
4. Korenevskij N. A. Proektirovanie nechetkih reshajushhijh setej, nastraivaemyh po strukture dannyh dlja zadach medicinskoj diagnostiki [Design of fuzzy decision networks configurable by data structure for medical diagnostics tasks]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2005, vol. 4, no. 1, pp. 12-20.
5. Korenevskij N. A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinjatija reshenij dlja medicinskih jekspertnyh system [Using fuzzy logic of decision-making for medical expert systems]. *Medicinskaja tehnika = Medical Equipment*, 2015, no. 1, pp. 33-35.
6. Korenevskij N. A. Rodionova S. N., Hripina I. I. Metodologija sinteza gibridnyh nechetkih reshajushhijh pravil dlja medicinskih intellektual'nyh sistem podderzhki prinjatija reshenij [Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. Staryj Oskol, TNT Publ., 2019. 472 p.
7. Korenevskij N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. Ja., Novikova L. A. Metod sinteza nechetkih reshajushhijh pravil na osnove modelej sistemnyh vzaimosvjazej dlja reshenija zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabojevanij [The method of synthesis of fuzzy decision rules based on models of system relationships for solving problems of forecasting and diagnosis of diseases]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881-886.
8. Bokeriya L. A., Bykov A. V., Korenevskij N. A. Optimizaciya vedeniya pacientov s mul'ticentrichnym ishemicheskim porazheniem na baze nechetkih intellektual'nyh tekhnologij [Optimization of management of patients with multicentric ischemic lesion based on fuzzy intelligent technologies]. Staryj Oskol, TNT Publ., 2019. 400 p.
9. Bykov A. V. Metod i nechetkaya model' ocenki stepeni tyazhesti ishemicheskoj boleznj central'noj gemodinamicheskoj sistemy [Method and fuzzy model for assessing the severity of

ischemic disease of the central hemodynamic system]. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij = Bulletin of New Medical Technologies*, 2017, vol. 24, no. 4, pp. 144-150.

10. Bykov A. V. [Method for assessing the variability of indicators characterizing the blood supply of the foot in patients with ischemic disease of the lower extremities]. *Sovremennoe nauchnoe znanie: teoriya metodologiya, praktika. Sbornik materialov nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Modern scientific knowledge: theory, methodology, practice. Collection of materials of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference]*. Smolensk, NOVALENKO Publ., 2016, pt. 1, pp. 26-29. (In Russ.)

11. Bykov A. V. Prognozirovaniye vozniknoveniya i razvitiya gangreny nizhnih konechnostey na osnove nechetkih modelej prinyatiya reshenij [Forecasting the occurrence and development of gangrene of the lower extremities based on fuzzy decision-making models]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2017, no. 4 (25), pp. 95-103.

12. Bykov A. V., Bojcov A. V., Rodionov D. S. Sposob opredeleniya inetensivnosti bolevogo sindroma pri ishemii golovnogo mozga [A method for determining the inetensiveness of pain syndrome in cerebral ischemia]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2017, vol. 7, no. 3 (24), pp. 91-100.

13. Bykov A. V., Burmaka A. A., Korenevskaya S. N., Rodionov D. S. Intellektual'naya podderzhka prinyatiya reshenij pri vedenii pacientov s ishemiej nizhnih konechnostey na osnove gibridnyh nechetkih modelej [Intellectual decision support in the management of patients with lower limb ischemia based on hybrid fuzzy models]. *Medicinskaya tekhnika = Medical Equipment*, 2018, vol. 4 (310), pp. 39-41.

14. Bykov A. V., Korenevskaya S. N., Komlev I. A., Rodionov D. S. Prognozirovaniye razvitiya kriticheskogo sostoyaniya krovoobrashcheniya serdca na osnove gibridnyh nechetkih modelej [Forecasting the development of a critical state of the circulation of the heart based on hybrid fuzzy models]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2018, vol. 8, no. 1 (26), pp. 74-87.

15. Bykov A. V., Korenevskaya S. N., Parhomenko S. A., Rodionov D. S. [Intellectual support for the management of patients with systemic ischemic lesions]. *Fizika i radioelektronika v medicine i ekologii. Trudy XIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii s nauchnoj molodezhnoj shkoloj imeni I. N. Spiridonova* [Physics and radio electronics in medicine and ecology. Proceedings of the XIII International Scientific Conference with the Scientific Youth School named after I. N. Spiridonova]. Moscow, Grafika Publ., 2018, pp. 334-336. (In Russ.)
16. Bykov A. V., Korenevskaya S. N., Parhomenko S. A. [Decision support system for managing patients with chronic occlusive disease of the arteries of the lower extremities aggravated by ischemic pathology]. *Mediko-ekologicheskie informacionnye tekhnologii – 2018. Sbornik nauchnyh statej po materialam XXI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* [Medico-ecological information technologies – 2018. Collection of scientific articles based on materials of the XXI International scientific and technical conference]; ed. by N. A. Korenevskij. Kursk, Southwest State University Publ., 2018, pp. 69-77. (In Russ.)
17. Bykov A. V., Korenevskaya S. N., Parhomenko S. A., Starodubceva L. V., Hripina I. I. *Prognozirovanie poyavleniya i razvitiya gangreny nizhnih konechnostej s ispol'zovaniem nechetkih intellektual'nyh tekhnologij* [Forecasting the appearance and development of gangrene of the lower extremities using fuzzy intelligent technologies]. Kursk, Izdatel'skij dom VIP Publ., 2017. 470 p.
18. Bykov A. V., Korenevskaya S. N., Rodionov D. S. [Using hybrid fuzzy models to assess the severity of combined ischemic pathologies]. *Biotekhnicheskie, medicinskie, ekologicheskie sistemy i robototekhnicheskie komplekсы – Biomedistemy-2017. Sbornik trudov XXX Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchenyh i specialistov* [Biotechnical, medical, ecological systems and robotic complexes – Biomedistemy-2017. Proceedings of the XXX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Young Scientists and Specialists]. Ryazan, Ryazan State Radio Engineering University Publ., 2017, pp. 297-300. (In Russ.)
19. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Bojcova E. A., Goryajnov R. Yu. *Ocenka intensivnosti boleвого sindroma pri ishemii serdca* [Evaluation of the intensity of pain syndrome in cardiac ischemia]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 848-856.
20. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Cymbal E. V. *Metod i nechetkaya model' ocenki dinamiki razvitiya kriticheskoj ishemii nizhnih konechnostej* [Method and fuzzy model for assessing the dynamics of development of critical ischemia of the lower extremities]. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij = Bulletin of New Medical Technologies*, 2018, vol. 25, no. 4, pp. 251-257.
21. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Parhomenko S. A., Rodionova S. N., Cymbal E. V. *Vybor skhem lechebno-ozdorovitel'nyh meropriyatij dlya bol'nyh hronicheskimi*

obliteriruyushchimi zabolevaniyami arterij nizhnih konechnostej s uchetom sistemnyh vzaimosvyazej central'noj i regional'noj gemodinamiki [The choice of schemes of medical and recreational activities for patients with chronic obliterating diseases of the arteries of the lower extremities, taking into account systemic relationships of central and regional hemodynamics]. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. Elektronnoe izdanie = Bulletin of New Medical Technologies. Electronic Edition*, 2018, no. 6, pp. 105-114.

22. Выков А. В., Кореневский Н. А. Способ прогнозирования степени тяжести ишемического процесса сердца, головного мозга и нижних конечностей на основании оценки центральной и регионарной гемодинамики органов [A method for predicting the severity of the ischemic process of the heart, brain and lower extremities based on the assessment of central and regional hemodynamics of organs]. Patent RF, no. 2691932, 2017.

Информация об авторах / Information about the Authors

Корогодина Софья Владимировна, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Sofya V. Korogodina, Student of the Department of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Полякова Ангелина Вячеславовна, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Angelina V. Polyakova, Student of the Department of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Азарова Полина Сергеевна, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Polina S. Azarova, Student of the Department of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Винников Артем Викторович, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Artem V. Vinnikov, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Быков Александр Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Alexander V. Bykov, Cand. of Sci. (Medical), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Корневский Николай Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Nikolai A. Korenevsky, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru