

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-8-20>



УДК 004.93

Оценка степени тяжести сопряженной ишемии в условиях атеросклероза сонных артерий и артерий нижних конечностей

А. В. Быков¹, А. Н. Лищук², Н. А. Корневский³, А. В. Винников³ ✉

¹ Курская областная многопрофильная клиническая больница
ул. Сумская, д. 45а, г. Курск 305007, Российская Федерация

² Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий –
Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневского
тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневского, д. 1, Московская область, городской округ Красногорск,
п. Новый 143420, Российская Федерация

³ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305000, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Резюме

Целью исследования является разработка метода оценки степени тяжести ишемических процессов при мультифокальном атеросклерозе на фоне хронической сосудисто-мозговой недостаточности и хронической ишемии нижних конечностей.

Методы. Основными методами, используемыми в данном исследовании, являются методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, разведочный анализ, метод экспертного оценивания Делфи. Расчеты производились на основе модели Г. Раша и итерационной модели Е. Шортлиффа.

Результаты. В ходе проводимых исследований были синтезированы частные решающие правила для оценки нарушений регуляторных функций головного мозга, ишемических нарушений головного мозга и нижних конечностей, нарушений двигательных функций нижних конечностей, на основе которых с помощью итерационной модели Е. Шортлиффа и агрегирующих решающих правил были сформированы промежуточные решающие правила, которые, в свою очередь, вошли в финальное решающее правило «степень тяжести ишемического взаимодействия». Далее на основе финального решающего правила был разработан алгоритм оценки степени тяжести ишемических взаимодействий для коморбидных пациентов с дезинтеграцией аффлекторно-эффлекторных механизмов взаимодействия периферических органов и регуляторных функций центральной нервной системы, позволяющий оценить степень выраженности ишемического процесса и риска развития фатальных осложнений у пациентов с рассматриваемой патологией.

Заключение. В ходе проведенных исследований были продемонстрированы высокие результаты применения синтезированных частных решающих правил в рамках поставленной в данном исследовании задачи, а также была показана целесообразность использования полученных моделей и методов в практике работы невролога, сосудистого хирурга, ангионевролога, нейрохирурга.

© Быков А. В., Лищук А. Н., Корневский Н. А., Винников А. В., 2024

Ключевые слова: мультифокальный атеросклероз; решающие правила; ишемические нарушения; нечеткая логика; функция принадлежности.

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

Для цитирования: Оценка степени тяжести сопряженной ишемии в условиях атеросклероза сонных артерий и артерий нижних конечностей / А. В. Быков, А. Н. Лищук, Н. А. Корневский, А. В. Винников // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 2. С. 8–20. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-8-20>

Поступила в редакцию 10.04.2024

Подписана в печать 08.05.2024

Опубликована 28.06.2024

Assessment of the severity of associated ischemia in conditions of atherosclerosis of the carotid arteries and arteries of the lower extremities

Alexander V. Bykov¹, Alexander N. Lischuk²,
Nikolay A. Korenevskiy³, Artem V. Vinnikov³ ✉

¹ Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital
45a Sumskaya Str., Kursk 305007, Russian Federation

² National Medical Research Center for High Medical Technologies – A. A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital
1 ter. 3 CMCH named after A. A. Vishnevsky, Moscow Region, Krasnogorsk District,
Novy 143420, Russian Federation

³ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a method for assessing the severity of ischemic processes in multifocal atherosclerosis against the background of chronic cerebrovascular insufficiency and chronic ischemia of the lower extremities.

Methods. The main methods used in this study are the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules, exploratory analysis, and the Delphi expert assessment method; calculations were based on the G. Rush model and the E. Shortliff iterative model.

Results. In the course of the research, particular decisive rules were synthesized to assess violations of the regulatory functions of the brain, ischemic disorders of the brain and lower extremities, disorders of the motor functions of the lower extremities, on the basis of which, using the iterative model of E. Shortliff and aggregating decisive rules, intermediate decisive rules were formed, which, in turn, entered the final decisive rule "severity of ischemic interaction". Further, based on the final decisive rule, an algorithm was developed to assess the severity of ischemic interactions for comorbid patients with disintegration of affective-effector mechanisms of interaction between peripheral organs and regulatory functions of the central nervous system, allowing to assess the severity of the ischemic process and the risk of fatal complications in patients with the pathology in question.

Conclusion. In the course of the conducted research, high results were demonstrated in the application of synthesized partial decision rules within the framework of the task set in this study, and the expediency of using the obtained models and methods in the practice of a neurologist, vascular surgeon, angioedrologist, neurosurgeon was also shown.

Keywords: multifocal atherosclerosis; decisive rules; ischemic disorders; fuzzy logic; membership function.

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

For citation: Bykov A.V., Lischuk A.N., Korenevskiy N.A., Vinnikov A.V. Assessment of the severity of associated ischemia in conditions of atherosclerosis of the carotid arteries and arteries of the lower extremities. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2024;14(2):8–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-8-20>

Received 10.04.2024

Accepted 08.05.2024

Published 28.06.2024

Введение

В настоящее время очень актуальной проблемой является оценка состояния коморбидных пациентов с мультифокальным атеросклерозом (МФА), хронической ишемией нижних конечностей (ХИНК) и хронической сосудисто-мозговой недостаточностью (ХСМН) [1]. По показателям смертности и распространенности на территории Российской Федерации и во всем мире рассматриваемые патологии уступают только хронической сердечной недостаточности (ХСН), ишемическим болезням сердца (ИБС) и онкологическим заболеваниям [2]. Столь высокие показатели обусловлены неуправляемостью ишемических процессов [3], а также дезорганизацией взаимодействия центральной нервной системы (ЦНС) и периферических систем органов [4].

С целью повышения эффективности медицинской помощи, оказываемой пациентам с дезинтеграцией аффлекторно-эффлекторных механизмов взаимодействия периферических органов и регуляторных функций ЦНС, в рамках МФА [5] на кафедре БМИ ЮЗГУ был разработан метод на основе гибридного интеллекта и нечеткой логики [6], позволяющий оценить степень тяжести состояния

таких пациентов и решить проблему их комплексной реабилитации с помощью синтеза решающих правил степени тяжести ишемического взаимодействия (СТИВ) [7].

Материалы и методы

Для поиска рационального состава диагностических признаков, выбора и оценки эффективности схем комплексной реабилитации в качестве объекта исследования были выбраны 120 человек, проходившие наблюдение и лечение у специалистов БМУ «Курская областная многопрофильная клиническая больница». Возрастная структура пациентов представлена следующими группами: 45–55 лет (19,2%), 56–60 лет (45,3%), 61–65 лет (25,8%) и 66–75 лет (8,7%).

На первом этапе исследования производится, в соответствии с общими методами синтеза решающих правил, формирование состава информативных признаков [8].

Согласно разведочному анализу используемых диагностических критериев у коморбидных пациентов с мультифокальным атеросклерозом [9], было решено выбрать следующую группу показателей:

X_1 – показатель комплексной реабилитации (ПКР);

X_2 – электроэнцефалография (ЭЭГ);

X_3 – непрерывное мониторирование гликемии (НМГ);

X_4 – ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий (УЗИ БЦА);

X_5 – реоэнцефалография (РЕГ);

X_6 – реовазография (РВГ);

X_7 – ультразвуковое исследование артерий нижних конечностей (УЗИ АНК);

X_8 – лабораторные показатели.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенной по методу Делфи экспертизы [10] данный перечень был признан наиболее полным, и каждому из показателей были даны свои заключения по информативности по шкале с диапазоном [0,1]. Рассмотрим средние величины показателей (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения экспертной информативности прогностических признаков

Table 1. Average values of expert informativeness of prognostic features

X_i	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Экспертная уверенность	0,45	0,55	0,67	0,45	0,58	0,37	0,68	0,53

В общем виде модель описывается выражением

$$UGMA = F(OKI, IMI, LMI), \quad (1)$$

где $UGMA$ – синтезированный критерий дифференцированного отбора пациентов с МФА; OKI – уверенность в развитии ишемии, рассчитываемая по показателю комплексной реабилитации; IMI – уверенность в появлении и развитии ишемии на основании данных инструментальных исследований; LMI – уверенность в появлении и развитии ишемии по данным лабораторных исследований.

Для формирования первого показателя эксперты определили шкалу в виде системы градации (табл. 2).

Проведение измерений по всем параметрам с использованием балльной оценки будет отражать актуальный реабилитационный профиль [11].

Показатель X_2 (ЭЭГ) представляется традиционными измеряемыми в медицинской практике показателями для выявления функционального состояния головного мозга при мультифокальном атеросклерозе: частота α ритма (α); частота β ритма (β).

Показатель X_3 (НМГ) представляется показателями, характеризующими нервную проводимость в периферических нервах: амплитуда М-ответа (AmM); амплитуда F-волны (AmF); Н-рефлекс ($Href$).

Таблица 2. Система градации X_1 **Table 2.** Graduation system X_1

Симптомы	Балл
Снижение памяти	1
Периодические головные боли	2
Нарушения сна	3
Нарушения артикуляции, фонации	4
Неустойчивость при ходьбе, боль в покое в нижних конечностях	5
Синдром паркинсонизма, деменция	6
Прогрессирование симптомов	7
Падения, обмороки	8
Психическая деградация, расстройства речи, чувствительности	9
Сосудистая деменция, нарушения интеллекта	10

Показатель X_4 (УЗИ БЦА) отображен показателями исследования кровотока в просветах сосудов, позволяющими количественно оценить линейную скорость кровотока [12]: ПСС кровотока внутренней сонной артерии (V-BCA); ПСС кровотока наружной сонной артерии (V-NCA); ПСС кровотока общей сонной артерии (V-OCA); ПСС кровотока позвоночных артерий на стороне поражения (V-ПА) [12].

Показатель X_5 (РЭГ) представлен показателями, характеризующими состояние небольших вен и состояние мелких артерий: дикротический показатель (ДКП); диастолический показатель (ДСП) [4].

Показатель X_6 (РВГ) отражен показателями, характеризующими состояние общего регионарного кровотока в исследуемом органе: амплитудно-частотный показатель (АЧП), реографический индекс (РИ) [5].

Показатель X_7 (УЗИ АНК) выражен такими показателями, как: лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ); степень стеноза магистральных артерий (ССМА); отношение ПСС (стеноз) / ПСС (без стеноза) (ИПС 1).

Показатель X_8 (лабораторные показатели) характеризуют следующие параметры: протромбиновый индекс (ПТИ); тромбоциты (TR); активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ); Д-димер (ДД); антитромбин – 3 (АТ-3); антитела при антифосфолипидном синдроме (АФС – АТ); острофазовый показатель (СРБ).

В соответствии с общей моделью синтеза частных нечетких решающих правил [13] на втором этапе определяются вид и параметры функций принадлежности к классу «нарушения регуляторных функций головного мозга». На данном этапе по каждому показателю и признаку определены следующие

функции принадлежности и правила их получения [14]:

X_1 – показатель комплексной реабилитации (ПКР);

$$\mu_{\omega_1}(X_1) = 0,025 X_1 + 0,05, \quad (2)$$

где X_1 – сумма набранных баллов (табл. 2);

X_2 – инструментальные методы исследования (ЭЭГ);

$$\mu_{\omega_1}(X_2) = \mu_{\omega_1}(\alpha) + \mu_{\omega_1}(\beta) - \mu_{\omega_1}(\alpha) \cdot \mu_{\omega_1}(\beta), \quad (3)$$

$$\mu_{\omega_1}(\alpha) = \begin{cases} 0,18, & \text{если } \alpha < 5, \\ -0,06\alpha + 0,48, & \text{если } 5 \leq \alpha < 8, \\ 0, & \text{если } \alpha \geq 8, \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\omega_1}(\beta) = \begin{cases} 0, & \text{если } \beta < 7, \\ 0,01\beta - 0,1, & \text{если } 7 \leq \beta < 20, \\ 0,2, & \text{если } \beta \geq 20. \end{cases} \quad (5)$$

Функции принадлежности и правила их получения для признаков $X_3 - X_8$ формируются аналогично функциям и правилам для признака X_2 [15].

С учетом того, что каждый из выбранных показателей увеличивает уверенность развития у обследуемого ишемии головного мозга [16], базовая прогностическая модель представляет собой итерационную формулу вида [17]:

$$UI(q + 1) = UI(q) + \mu_{\omega_1}(X_{i+1}) [1 - UI(q)], \quad (6)$$

где q – номер итерации; $UI(1) = \mu_{\omega_1}(X_1)$.

В ходе исследований было установлено, что целесообразно ввести промежуточные правила для формирования финального правила СТИБ [18].

Таким образом, эксперты выбрали следующие решающие правила [19]:

1. Степень ишемии ГМ (LIB).
2. Степень нарушения регуляции ЦНС (LINS).
3. Степень нарушения мышечной активности НК (LIM).
4. Степень ишемии НК (UST).

Для признака LIB с учетом рекомендаций по синтезу гибридных нечетких решающих правил [20] были выбраны параметры: $\mu_{\omega_1}(X_1)$; $\mu_{\omega_1}(X_4)$; $\mu_{\omega_1}(X_5)$; $\mu_{\omega_1}(X_8)$. Он определяется следующими агрегирующими решающими правилами:

$$\mu_{\omega_2}(Z_1) = \mu_{\omega_2}(LIB) = \mu_{\omega_2}(Y_1) + \mu_{\omega_2}(Y_2) - \mu_{\omega_2}(Y_1) \cdot \mu_{\omega_2}(Y_2), \quad (7)$$

$$\mu_{\omega_2}(Y_1) = \mu_{\omega_1}(X_1) + \mu_{\omega_1}(X_4) - \mu_{\omega_1}(X_1) \cdot \mu_{\omega_1}(X_4), \quad (8)$$

$$\mu_{\omega_2}(Y_2) = \mu_{\omega_1}(X_5) + \mu_{\omega_1}(X_8) - \mu_{\omega_1}(X_5) \cdot \mu_{\omega_1}(X_8). \quad (9)$$

Для признака LINS с учетом рекомендаций по синтезу гибридных нечетких решающих правил [20] экспертами были выбраны следующие параметры: $\mu_{\omega_1}(X_1)$; $\mu_{\omega_1}(X_2)$; $\mu_{\omega_1}(X_4)$; $\mu_{\omega_1}(X_5)$; $\mu_{\omega_1}(X_6)$.

Для признака LIM с учетом рекомендаций по синтезу гибридных нечетких решающих правил [20] были выбраны следующие параметры: $\mu_{\omega_1}(X_1)$; $\mu_{\omega_1}(X_2)$; $\mu_{\omega_1}(X_3)$.

Для признака UST с учетом рекомендаций по синтезу гибридных нечетких решающих правил [20] были выбраны следующие параметры: $\mu_{\omega_1}(X_1)$; $\mu_{\omega_1}(X_6)$; $\mu_{\omega_1}(X_7)$; $\mu_{\omega_1}(X_8)$.

LINS, LIM и UST определяются агрегирующими решающими правилами, сформированными аналогично правилам LIB [20].

С учетом увеличения уверенности в том, что у обследуемого разовьются нарушения автономной регуляции головного мозга периферических двигательных функций, каждым из выбранных показателей, базовая прогностическая модель описывается итерационной формулой вида [17]:

$$\text{СТИВ}(q+1) = \text{СТИВ}(q) + \mu_{\dot{\omega}2}(Z_{i+1}) \cdot [1 - \text{СТИВ}(q)], \quad (10)$$

где q – номер итерации; $\text{СТИВ}(1) = \mu_{\dot{\omega}2}(Z_1)$.

Эксперты с использованием технологии Делфи на шкале SAR определили четыре класса СТИВ [11]:

- 1) S1 – СТИВ от 5% до 20%;
- 2) S2 – СТИВ от 20% до 40%;
- 3) S3 – СТИВ от 40% до 60%;
- 4) S4 – тотальная СТИВ.

На рисунке 1 приведены графики функции принадлежности $\mu_{st}(SAR)$ к выделенным классам СТИВ при переходе к конечной логике принятия решений.

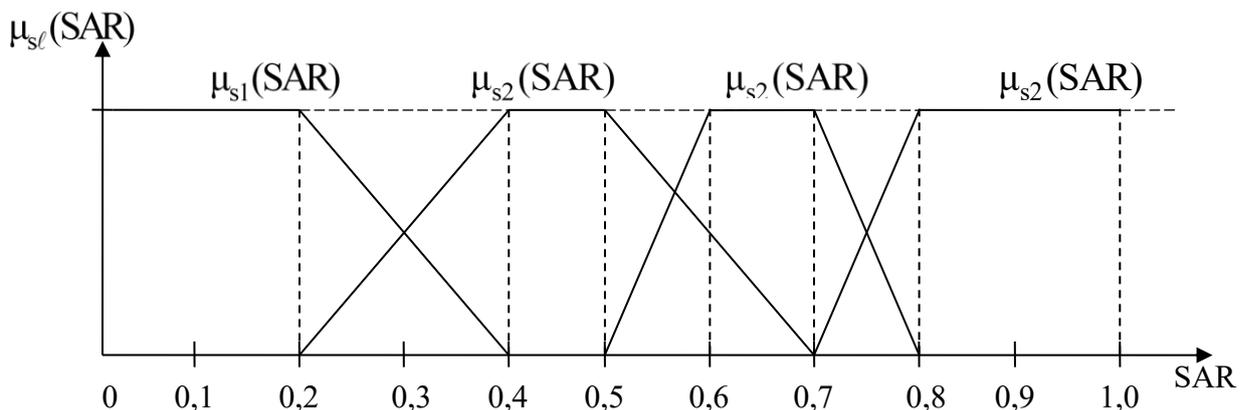


Рис. 1. Графики функции принадлежности $\mu_{st}(SAR)$ к выделенным классам СТИВ

Fig. 1. Graphs of the accessory function $\mu_{st}(SAR)$ to the selected STIV classes

Уверенность в отношении обследуемых к классу $S\ell$ определяется выражением [13]:

$$UI_{\ell} = \max[\mu_{s1}(SAR), \mu_{s2}(SAR), \mu_{s3}(SAR), \mu_{s4}(SAR)]. \quad (11)$$

При равенстве двух функций пациент относится к более тяжелой стадии заболевания.

С целью оценки эффективности математической модели было проведено

перспективное исследование. В течение двух лет велось наблюдение пациентов БМУ «Курская областная многопрофильная клиническая больница», у которых отсутствовали признаки МФА, но присутствовали другие ишемические заболевания, среди которых были ХСМН и ХИНК. Для каждого пациента вначале были рассчитаны величины UI [9]. Значение $UI > 0,25$ являлось критерием отбора в группу наблюдения [8].

Рассмотрим, результаты наблюдения на основе полученных данных (табл. 3).

Показатели качества классификации, рассчитанные по данным, приведены ниже (табл. 4).

Таблица 3. Распределение результатов работы модели после двух лет наблюдений

Table 3. Distribution of the results of the model after two years of observations

Пациенты	Результаты исследования		Всего
	положительные	отрицательные	
$n_1 = 20$	41	9	20
$n_2 = 100$	7	63	100
Всего	48	72	120

Таблица 4. Сводная таблица показателей качества возникновения МФА после двух лет наблюдений

Table 4. Summary table of the quality indicators of the emergence of the MFA after two years of observation

Показатель качества	ДЧ	ДС	ПЗ+	ПЗ-	ДЭ
Ω_{VB}	0,85	0,88	0,82	0,9	0,86

Выводы

В результате исследования были синтезированы частные решающие правила для оценки нарушений регуляторных функций головного мозга, ишемических нарушений головного мозга и нижних конечностей, нарушений двигательных функций нижних конечностей, а также разработан алгоритм оценки степени тяжести ишемических взаимодействий для пациентов с дезинтеграцией аффлекторно-эффлекторных механизмов

взаимодействия периферических органов и регуляторных функций ЦНС в рамках МФА, осложненного ХИНК и / или ХСМН. Анализ результатов статистических испытаний позволяет рекомендовать полученные результаты для внедрения в медицинскую практику. Предложенные модели делают возможным и рациональным использование описанных методов в практике врача-невролога, сосудистого хирурга, ангионевролога, нейрохирурга.

Список литературы

1. Ибрагимов Р. М. Стандартизация подходов к выбору тактики лечения при мультифокальном атеросклерозе // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2012. Т. 5, № 6. С. 12–19.
2. Авалиани В. М., Чернов И. И. Распространенность мультифокального атеросклероза на Европейском Севере России // Экология человека. 2005. № 7. С. 28–32.

3. Хайбуллина З. Р., Косникова И. В. Проявления метаболического синдрома у больных мультифокальным атеросклерозом // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2014. Т. 5, № 21. С. 127–136.
4. Гасанова И. Х., Куница В. Н., Гасанли З. Х. Сосудистый компонент в сосудистых сплетениях желудочков головного мозга // Наука и образование: новое время. 2018. № 4. С. 103–112.
5. Прогностическая значимость атеросклеротического поражения одного или двух сосудистых бассейнов у пациентов высокого и очень высокого сердечно-сосудистого риска / В. В. Генкель, А. С. Кузнецова, Е. В. Лебедев, И. И. Шапошник // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20, № 2. С. 34–40.
6. 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.
7. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33–35.
8. 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.
9. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
10. Корневский Н. А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 25–31.
11. 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.
12. Ловрикова М. А., Жмеренецкий К. В., Рудь С. С. Атеросклероз брахиоцефальных сосудов: классификация, ультразвуковая диагностика, стандарты лечения // Дальневосточный медицинский журнал. 2015. № 4. С. 118–123.
13. Метод синтеза нечетких моделей принятия решений по оценке состояния и управлению биотехническими системами / Н. А. Корневский, В. В. Серебровский, К. В. Разумова, И. И. Хрипина // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 68–74.
14. 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.
15. Корневский Н. А., Крупчатников Р. А., Горбатенко С. А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 18–24.

16. Корневский Н. А., Хрипина И. И., Лазурина Л. П. Нечеткие коллективные классификаторы для оценки состояния живых систем // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: сборник материалов XII Международной научно-технической конференции / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2015. С. 172–174.

17. Корневский Н. А., Разумова К. В. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. Т. 2. № 41. С. 223–227.

18. 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.

19. Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики / Н. А. Корневский, С. В. Дегтярев, С. П. Серегин, А. В. Новиков // Медицинская техника. 2013. № 4. С. 1–3.

20. Шуткин А. Н., Корневская С. Н., Федянин В. В. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил // Информационные проекты в медицине и педагогике. Материалы международной научно-практической конференции. М.: ИП Киселева О. В., 2014. С. 61–64.

References

1. Ibragimov R.M. Standardization of approaches to the choice of treatment tactics for multifocal atherosclerosis. *Kardiologiya i serdechno-sosudistaya hirurgiya = Cardiology and Cardiovascular Surgery*. 2012;5(6):12–19. (In Russ.)

2. Avaliani V.M., Chernov I.I. Prevalence of multifocal atherosclerosis in the European North of Russia. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2005;7:28–32. (In Russ.)

3. Khaibullina Z.R., Kosnikova I.V. Manifestations of metabolic syndrome in patients with multifocal atherosclerosis. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Bulletin of the Novosibirsk State Pedagogical University*. 2014;5(21):127–136. (In Russ.)

4. Hasanova I.H., Kunitsa V.N., Hasanli Z.H. Vascular component in the vascular plexuses of the ventricles of the brain]. *Nauka i obrazovanie: novoe vremya = Science and Education: New Time*. 2018;(4):103–112. (In Russ.)

5. Genkel V.V., Kuznetsova A.S., Lebedev E.V., Shaposhnik I.I. The prognostic significance of atherosclerotic lesions of one or two vascular basins in patients with high and very high cardiovascular risk. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika = Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021;20(2):34–40. (In Russ.)

6. Korenevsky N.A. Proektirovanie nechetkih reshayushchih setej, nastraivaemyh po strukture dannyh dlya 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;4(1):12–20. (In Russ.)
7. Korenevsky N.A. The use of fuzzy decision-making logic for medical expert systems. *Medicinskaya tekhnika* = *Medical Equipment*. 2015;(1):33–35. (In Russ.)
8. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Methodology of synthesis of flexible fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems. Stary Oskol: TNT; 2019. 472 p. (In Russ.)
9. Korenevsky N.A., Shutkin A.N., Gorbatenko S.A., Serebrovsky V.I. Assessment and management of the health status of students based on hybrid intelligent technologies. Stary Oskol: TNT; 2016. 472 p. (In Russ.)
10. Korenevsky N.A. Designing decision-making systems based on fuzzy network models in the tasks of medical diagnostics and forecasting. *Telekommunikacii* = *Telecommunications*. 2006;(6):25–31. (In Russ.)
11. Korenevsky N.A., Artemenko M.V., Provotorov V.Ya., Novikova L.A. 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;13(4):881–886. (In Russ.)
12. Lovrikova M.A., Zhmerenetsky K.V., Rud S.S. Atherosclerosis of brachiocephalic vessels: classification, ultrasound diagnostics, treatment standards. *Dal'nevostochnyj medicinskij zhurnal* = *Far Eastern Medical Journal*. 2015;(4):118–123. (In Russ.)
13. Korenevsky N.A., Serebrovsky V.V., Razumova K.V., Khripina I.I. Method of synthesis of fuzzy decision-making models for assessing the state and management of biotechnical systems. *Biomedicinskaya radioelektronika* = *Biomedical Radioelectronics*. 2016;(9):68–74. (In Russ.)
14. Korenevsky N.A., Shutkin A.N., Boitsova E.A. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelej G. Rasha [Assessment and management of health status based on G. Rush models]. *Medical equipment* = *Medical Equipment*. 2015;(6):37–40. (In Russ.)
15. Korenevsky N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Synthesis of fuzzy network models trained on the data structure for medical expert systems. *Medicinskaya tekhnika* = *Medical Equipment*. 2008;(2):18–24. (In Russ.)
16. Korenevsky N.A., Khripina I.I., Lazurina L.P. Fuzzy collective classifiers for assessing the state of living systems. In: *Optiko-elektronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii. Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* = *Optoelectronic devices and devices*

in image recognition, image processing and symbolic information systems: A collection of materials of the XII International Scientific and Technical Conference. Kursk: Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet; 2015. P. 172–174. (In Russ.)

17. Korenevsky N.A., Razumova K.V. Synthesis of fuzzy classification rules in a multi-dimensional feature space for medical applications. *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*. 2012;2(41):223–227. (In Russ.)

18. Korenevsky N.A. 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;4(1):12–20. (In Russ.)

19. Korenevsky N.A., Degtyarev S.V., Seregin S.P., Novikov A.V. Interactive classification method in the tasks of medical diagnostics. *Medicinskaya tekhnika = Medical Technology*. 2013;(4):1–3. (In Russ.)

20. Shutkin A.N., Korenevskaya S.N., Fedyanin V.V. Designing knowledge bases of medical expert systems using teams of fuzzy rules. *Informacionnye proekty v medicine i pedagogike. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Information projects in medicine and pedagogy: Materials of the international scientific and practical conference*. Moscow: IP Kiseleva O.V.; 2014. P. 61–64. (In Russ.)

Информация об авторе / Information about the Author

Быков Александр Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, врач – сердечно-сосудистый хирург, Курская областная многопрофильная клиническая больница, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: bikov-av@yandex.ru

Alexander V. Bykov, Candidate of Sciences (Medical), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Doctor – Cardiovascular Surgeon, Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital, Kursk, Russian Federation, e-mail: bikov-av@yandex.ru

Лищук Александр Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, врач высшей категории, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого, Московская область, городской округ Красногорск, п. Новый, Российская Федерация, e-mail: 3hospital@mil.ru

Alexander N. Lischuk, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Doctor of the highest category, National Medical Research Center for High Medical Technologies – A. A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital, Moscow Region, Krasnogorsk District, Novy, Russian Federation, e-mail: 3hospital@mil.ru

Корневский Николай Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2048-0956

Nikolay A. Korenevsky, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2048-0956

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