

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 616.24-002.5:004.032.26:616-036

3.1.26. Фтизиатрия (медицинские науки)

doi: 10.17021/1992-6499-2023-4-11-18

**НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ
БОЛЬНЫХ ТУБЕРКУЛЕЗОМ ЛЕГКИХ**

*Максим Алексеевич Алыменко^{1,6}, Равиль Шамилович Валиев¹,
Наиль Равилевич Валиев¹, Владислав Михайлович Коломиец²,
Светлана Николаевна Волкова⁵, Алексей Валерьевич Полоников²,
Галина Сергеевна Маль², Ирина Николаевна Трагира³,
Вера Алексеевна Рагулина², Елизавета Владимировна Попова⁴,
Елизавета Павловна Павленко², Наталья Петровна Балобанова⁶,
Александр Викторович Батищев⁶

¹Казанская государственная медицинская академия – филиал Российской медицинской академии последиplomного образования, Казань, Россия

²Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных болезней, Москва, Россия

⁴Воронежская областная детская клиническая больница № 2, Воронеж, Россия

⁵Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, Курск, Россия

⁶Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия

Аннотация. Исследована специфика прогнозирования эффективности лечения больных туберкулезом легких с использованием нейросетевых технологий. Получена наиболее оптимальная по прогнозу нейросетевая модель, которая позволяет прогнозировать эффективность лечения с точностью прогноза не менее, чем на 78,4 %. В результате построения нейросетевой модели были выявлены наиболее значимые «входные» параметры нейросети: наличие гепатотоксических реакций; уровень IL-1 β , IL-6, IL-4, IL-10, IFN- γ , С-реактивного белка до начала проведения интенсивной фазы химиотерапии; наличие антибиотикорезистентности; наличие микобактерий туберкулеза до назначения специфической химиотерапии методом посева; объем поражения легочной ткани; режим химиотерапии; клиническая форма туберкулеза легких; генотип EE гена *GSTT1*.

Ключевые слова: туберкулез, нейронная сеть, многослойный персептрон, эффективность лечения

Для цитирования: Алыменко М. А., Валиев Р. Ш., Валиев Н. Р., Коломиец В. М., Волкова С. Н., Полоников А. В., Маль Г. С., Трагира И. Н., Рагулина В. А., Попова Е. В., Павленко Е. П., Балобанова Н. П., Батищев А. В. Нейросетевые технологии в прогнозировании эффективности лечения больных туберкулезом легких // Астраханский медицинский журнал. 2023. Т. 18, № 4. С. 11–18. doi: 10.17021/1992-6499-2023-4-11-18.

ORIGINAL INVESTIGATIONS

Original article

**NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN PREDICTING THE EFFECTIVENESS
OF TREATMENT OF PATIENTS WITH PULMONARY TUBERCULOSIS**

* © Алыменко М.А., Валиев Р.Ш., Валиев Н.Р., Коломиец В.М., Волкова С.Н., Полоников А.В., Маль Г.С., Трагира И.Н., Рагулина В.А., Попова Е.В., Павленко Е.П., Балобанова Н.П., Батищев А.В., 2023

Maksim A. Alymenko^{1,6}, Ravil Sh. Valiev¹, Nail R. Valiev¹, Vladislav M. Kolomiets², Svetlana N. Volkova⁵, Aleksey V. Polonikov², Galina S. Mal², Irina N. Tragira³, Vera A. Ragulina², Elizaveta V. Popova⁴, Elizaveta P. Pavlenko², Natalia P. Balobanova⁶, Aleksandr V. Batishchev⁶

¹Kazan State Medical Academy - branch of the Russian Ministry of Health, Kazan, Russia

²Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kursk, Russia

³National Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases, Moscow, Russia

⁴Voronezh Regional Children's Clinical Hospital № 2, Voronezh, Russia

⁵Kursk State Agricultural University named after Ivanova, Kursk, Russia

⁶Moscow Financial and Industrial University «Synergy», Moscow, Russia

Abstract. The study used predicting the effectiveness of treatment of patients with pulmonary tuberculosis using neural network technologies. The most optimal neural network model was obtained, which allows predicting the effectiveness of treatment with a forecast accuracy of at least 78.4%. As a result of constructing a neural network model, the most significant «input» parameters of the neural network were identified: the presence of hepatotoxic reactions, the level of IL-1β, IL-6, IL-4, IL-10, IFN-γ, C-reactive protein before the start of the intensive phase of chemotherapy, the presence of antibiotic resistance, the presence of mycobacterium tuberculosis before the appointment of a specific chemotherapy by seeding, the volume of lung tissue damage, the chemotherapy regimen, the clinical form of pulmonary tuberculosis, as well as the genotype of EE gene *GSTT1*.

Key words: tuberculosis, neural network, multilayered perceptron, efficiency of treatment.

For citation: Alymenko M. A., Valiev R. Sh., Valiev N. R., Kolomiets V. M., Volkova S. N., Polonikov A. V., Mal' G. S., Tragira I. N., Ragulina V. A., Popova E. V., Pavlenko E. P., Balobanova N. P., Batishchev A. V. Neural network technologies in prediction the effectiveness of treatment of patients with pulmonary tuberculosis. Astrakhan Medical Journal. 2023; 18 (4): 11–18. doi: 10.17021/1992-6499-2023-4-11-18. (In Russ.).

Введение. В первые 20 лет XXI века отмечается снижение заболеваемости туберкулезом как в мире, так и особенно быстрыми темпами в Российской Федерации, что стало результатом реализации приоритетного национального проекта «Здоровье». В связи с этим Всемирная организация здравоохранения исключила Россию из списка 30 стран с высоким бременем этого социально-значимого инфекционного заболевания [1]. При этом наша страна до сих пор сохраняет свое присутствие в перечнях государств с высоким распространением сочетанной патологии туберкулез/ВИЧ-инфекция и значительной долей больных туберкулезом с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ ТБ). В таких условиях вопросы прогнозирования эффективности этиотропной терапии с целью ее совершенствования и интенсификации на различных этапах (фазах) приобретают едва ли не решающее значение. С этой целью разработаны и используются различные методы, а в последнее время особенно актуальным становится внедрение программирования с применением нейронных сетей.

Впервые математическая модель нейронной сети была создана У. Маккалохом и У. Питтсом в 1943 г. [2]. В настоящее время информационные технологии применяются во всех областях медицины [3, 4]. Применение методов с использованием нейронных сетей позволяет решать такие проблемные вопросы, как диагностика и прогнозирование заболеваний [5, 6]. Использование нейронных сетей и искусственного интеллекта дает возможность сократить временные и технические затраты [7, 8].

При применении нейросетевой технологии исключаются затраты на статистическую обработку данных, а также выбор метода исследования [9]. Данных об использовании нейронных сетей во фтизиатрии в доступной литературе не обнаружено.

Таким образом, нейросетевые технологии в настоящее время востребованы во многих областях медицины, в том числе при прогнозировании эффективности лечения больных туберкулезом легких.

Цель: осуществить прогнозирование эффективности лечения больных туберкулезом легких в фазе продолжения, а также выявить наиболее значимые параметры, влияющие на ее эффективность.

Материалы и методы исследования. Исследуемая группа пациентов была представлена 335 больными туберкулезом легких в возрасте от 18 до 65 лет, среди которых у 212 человек туберкулез был выявлен впервые, у 123 пациентов заболевание перешло в хроническое.

В ходе проведенного ретроспективного исследования были соблюдены этические нормы и правила при выполнении исследования (выписка из Протокола №04/05 заседания Комитета по этике

КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России от 27.05.2021 г.).

Среди 335 больных туберкулезом легких зафиксирована следующая гендерная дифференциация: 257 (76,7 %) мужчин и 78 (23,3 %) женщин. Средний возраст включенных в исследование пациентов составлял 46,4 лет.

В группе исследования преобладал инфильтративный туберкулез легких, установленный у 135 (40,3 %) больных. На втором месте зафиксирован диссеминированный туберкулез, который диагностирован у 118 (35,2 %) пациентов. Затем определяли фиброзно-кавернозный туберкулез легких, установленный у 66 (19,7 %) человек, и очаговый туберкулез легких – у 16 (4,8 %) пациентов.

Генотипирование пациентов с туберкулезом легких проводили в иммуногенетической лаборатории ООО «Томограф» (г. Курск).

Для проведения молекулярно-генетических исследований у 335 человек из вены была взята цельная кровь в пробирку с этилендиаминтетрауксусной кислотой. Выделение геномной ДНК осуществляли с помощью наборов реагентов Arrow Blood DNA 500 из цельной крови (на станции NorDiag Arrow). Далее проводили постановку полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени с использованием наборов реагентов для генотипирования SNPs: (*NAT2* (590G>A (*rs1799930*), *CYP2E1* (9896C>G (*rs2070676*), *ABCB1* (3435T>C (*rs1045642*), *GSTM1* (E/D), *GSTT1* (E/D), *IL1* (B-31C>T (*rs1143627*), *IL4* -589C>T (*rs2243250*), *IL10* (-592C>A (*rs1800872*), *IL10* (-1082A>G (*rs1800896*) и *TNF* (-308G>A (*rs1800629*), а также количественное определение содержания цитокинов в крови (IL1, IL4, IL10, TNF и IFN- γ) до и после завершения интенсивной фазы химиотерапии.

Статистическую обработку результатов исследования, в том числе построение нейросетевой модели, производили в программе «IBM SPSS Statistics 26».

Результаты исследования и их обсуждение. Входные параметры нейросети и их взаимосвязи с выходным параметром («эффективность лечения») были сформированы, исходя из проведенного множественного корреляционного анализа (табл. 1).

Таблица 1. Сводка для полученной корреляционной-регрессионной модели

Table 1. Summary of the resulting correlation-regression model

R	R ²	Стандартная ошибка оценки	Дарбин-Уотсон
0,713	0,509	0,382	1,877

Примечание: R – коэффициент множественной корреляции, R² – коэффициент детерминации, Дарбин-Уотсон – тест для обнаружения автокорреляции

Note: R – multiple correlation coefficient, R² – coefficient of determination, Durbin-Watson – test for detecting autocorrelation

Исходя из данных таблицы 1 следует, что коэффициент R отражает связь зависимой переменной («эффективность фазы продолжения») с совокупностью независимых переменных и равен 0,713. Значение R² составляет 0,509 и показывает, что 50,9 % дисперсии переменной «эффективность фазы продолжения» обусловлено влиянием предикторов (входных параметров модели). Тест Дарбина-Уотсона составляет 1,877, следовательно, автокорреляция остатков отсутствует (1,5 < Дарбин-Уотсон < 2,5) [10].

С помощью множественного регрессионного анализа определена относительная важность независимых переменных в предсказании зависимой переменной («эффективность фазы продолжения») (табл. 2).

Стандартизованные коэффициенты регрессии β являются статистически достоверными, что позволяет интерпретировать относительную степень влияния каждого из предикторов (положительная и отрицательная корреляция) и позволяет включить их в процесс построения нейросетевой модели.

На основании проведенного корреляционно-регрессионного анализа для построения нейросетевой модели были включены «входные» параметры многослойного персептрона. «Выходным» параметром нейросети явилась эффективность фазы продолжения у больных туберкулезом легких.

С целью построения нейронной сети использовали многослойный персептрон (рис.).

Таблица 2. Коэффициенты множественного регрессионного анализа
Table 2. Multiple regression analysis coefficients

Модель	Стандар- тизован- ные коэффи- циенты	Т	Значи- мость	Корреляции			Статистика коллинеарности	
	β			Нуле- вого порядка	Ча- стично	Ком- понент	До- пуск	IF
Пол	0,039	0,301	0,765	0,070	0,046	0,032	0,665	0,503
Возраст	-0,007	-0,049	0,961	0,058	-0,007	-0,005	0,588	1,701
Впервые выявленный, хронический	-0,174	-1,111	0,273	-0,122	-0,167	-0,119	0,467	2,143
Клинические формы	-0,068	-0,394	0,696	0,238	-0,060	-0,042	0,386	2,591
GSTM	-0,112	-0,735	0,466	-0,204	-0,111	-0,079	0,494	2,023
GSTT	-0,183	-1,363	0,180	-0,169	-0,203	-0,146	0,635	1,575
NAT2	-0,027	-0,194	0,847	-0,027	-0,030	-0,021	0,581	1,721
MDR1	-0,138	-0,958	0,343	-0,266	-0,145	-0,102	0,549	1,821
CYP2E1	-0,075	-0,409	0,685	-0,082	-0,062	-0,044	0,339	2,946
TNF α G-308A	-0,054	-0,377	0,708	-0,038	-0,057	-0,040	0,567	1,763
IL-4 C-589N	0,020	0,141	0,889	0,053	0,021	0,015	0,562	1,779
IL-10 G-1082A	0,016	0,104	0,918	-0,004	0,016	0,011	0,482	2,076
IL-10 A592	-0,083	-0,593	0,556	-0,131	-0,090	-0,063	0,585	1,711
IL-1b T-31C	0,003	0,018	0,986	0,003	0,003	0,002	0,573	1,746
Объем поражения легочной ткани	-0,349	-2,087	0,043	-0,340	-0,303	-0,223	0,409	2,443
Режимы химиотерапии	0,069	0,369	0,714	0,127	0,056	0,039	0,328	3,051
Микобактерии тубер- кулеза (микроскопиче- ский метод)	0,080	0,457	0,650	-0,095	0,069	0,049	0,368	2,716
Микобактерии туберкулеза (культуральный метод)	-0,361	-1,715	0,094	-0,364	-0,253	-0,183	0,258	3,882
Лекарственная устойчивость к микро- бактериям туберкулеза	0,302	1,493	0,143	-0,059	0,222	0,160	0,279	3,589
С-реактивный белок в начале интенсивной фазы химиотерапии	-0,039	-0,180	0,858	-0,063	-0,028	-0,019	0,242	4,137
С-реактивный белок в конце интенсивной фазы химиотерапии	0,166	0,850	0,400	-0,023	0,129	0,091	0,302	3,315
IL-1 β (1)	0,108	0,359	0,722	0,146	0,055	0,038	0,126	7,918
IL-1 β (2)	-0,044	-0,145	0,885	0,043	-0,022	-0,015	0,124	8,065
IL-4 (1)	-0,174	-0,868	0,390	-0,039	-0,131	-0,093	0,286	3,494
IL-4 (2)	0,098	0,536	0,595	0,052	0,081	0,057	0,340	2,943
IL-6 (1)	-0,038	-0,225	0,823	0,013	-0,034	-0,024	0,409	2,444
IL-6 (2)	0,094	0,576	0,568	0,269	0,087	0,062	0,429	2,331
TNF-a (1)	-0,410	-1,414	0,165	-0,154	-0,211	-0,151	0,136	7,343
TNF-a (2)	0,267	1,010	0,318	-0,087	0,152	0,108	0,163	6,137
IFN- γ (1)	0,054	0,275	0,785	0,026	0,042	0,029	0,298	3,351
IFN- γ (2)	0,053	0,286	0,776	0,193	0,044	0,031	0,334	2,991
IL-10 (1)	-0,195	-0,919	0,363	0,021	-0,139	-0,098	0,253	3,947
IL-10 (2)	0,417	1,904	0,064	0,132	0,279	0,204	0,238	4,203
Наличие гепатотокси- ческих реакций	-0,050	-0,370	0,713	0,031	-0,056	-0,040	0,616	1,624
Эффективность интенсивной фазы	-0,059	-0,418	0,678	-0,111	-0,064	-0,045	0,573	1,746

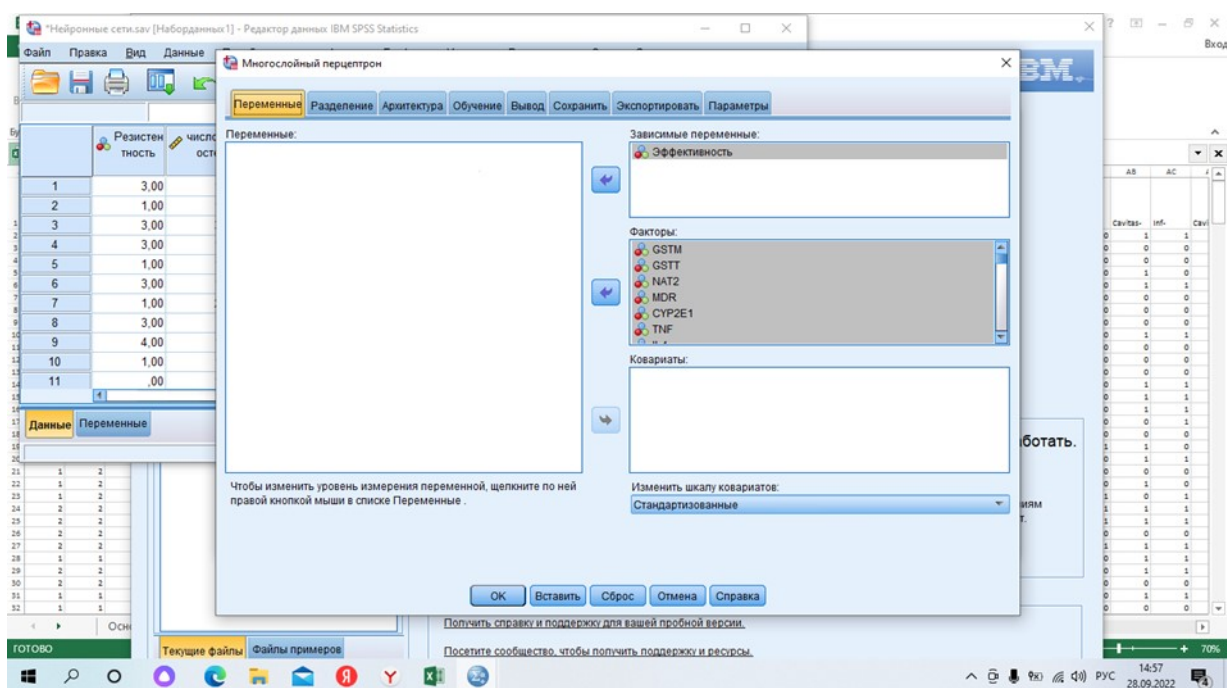


Рис. Многослойный перцептрон
Fig. Multilayer perceptron

Для формирования модели перцептрона использовали две выборки – обучающую (66,6 %) и контрольную (33,3 %).

В ходе построения модели многослойного перцептрона были получены такие параметры, как структура сети, ее производительность, значимость «входных» параметров нейросети и другие.

В результате проведения обучения нейронной сети получилась наиболее оптимальная по прогнозу модель многослойного перцептрона, которая позволяет с точностью не менее 78,4 % прогнозировать эффективность лечения больных туберкулезом легких в фазе продолжения, при этом чувствительность нейросетевой модели составила 100 %, а специфичность – 28 %.

Выводы:

1. Прогнозирование эффективности лечения больных туберкулезом легких с помощью нейронных сетей позволяет получить прогноз эффективности фазы продолжения с точностью не менее 78,4 %.
2. В результате построения нейросетевой модели были выявлены наиболее значимые «входные» параметры нейросети: наличие гепатотоксических реакций (26,8 %), уровень: IL-1 β (94,0 %), IL-6 (87,4 %), IL-4 (81,4 %), IL-10 (84,9 %), IFN- γ (81,4 %), СРБ (87,3 %) до начала проведения интенсивной фазы химиотерапии, наличие антибиотикорезистентности (53,6 %), наличие микобактерий туберкулеза до назначения специфической химиотерапии методом посева (37,2 %), объем поражения легочной ткани (53,1 %), режим химиотерапии (42,7 %), клиническая форма туберкулеза легких (68,7 %), а также генотип *EE* гена *GSTT1* (54,7 %).
3. Использование нейросетевой модели возможно в практической работе врача-фтизиатра с целью получения прогнозирования эффективности фазы продолжения больных туберкулезом легких с оптимизацией временных и технических затрат.

Раскрытие информации. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Список источников

1. Васильева И. А., Самойлова А. Г., Зимина В. Н., Ловачева О. В., Абраченко А. В. Химиотерапия туберкулеза в России – история продолжается // Туберкулез и болезни легких. 2023. Т. 101, № 2. С. 8–12. <http://doi.org/10.58838/2075-1230-2023-101-2-8-12>.
2. Aggarwal C. C. Neural networks and deep learning: A textbook. Springer, 2018. 497 p. doi: 10.1007/978-3-319-94463-0 ISBN 978-3-319-94462-3.
3. Волчек Ю. А., Шишко О. Н., Спиридонова О. С., Мохорт Т. В. Положение модели искусственной нейронной сети в медицинских экспертных системах // *Juvenis Scientia*. 2017. № 9. С. 4–9. doi: 10.15643/jscientia.2017.9.001.
4. Кравченко В. О. Методы использования искусственных нейронных сетей в медицине // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. № 6. С. 266–270.
5. Мустафаев А. Г. Использование нейросетевых технологий в задачах медицинской диагностики // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2019. № 6 (180). С. 32–38. doi: 10.14489/vkit.2019.06.pp.032-038.
6. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс. М. : Вильямс, 2016. 1104 с.
7. Kriegeskorte N., Golan T. Neural network models and deep learning // *Current Biology*. 2019. Vol. 29, no. 7. P. R231–R236. doi: 10.1016/j.cub.2019.02.034.
8. Pérez J., Cabrera J. A., Castillo J. J., Velasco J. M. Bio-inspired spiking neural network for nonlinear systems control // *Neural Netw.* 2018. Vol. 104. P. 15–25. doi: 10.1016/j.neunet.2018.04.002.
9. Горюнова В. В., Горюнова Т. И., Кухтевич И. И. Анализ использования нейросетевых технологий при решении диагностических и прогностических задач в медицине // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 4–8. С. 1214–1216.
10. Наследов А. Д. SPSS 19 : профессиональный статистический анализ данных. М. : Питер, 2011. 399 с.

References

1. Vasil'eva I. A., Samoylova A. G., Zimina V. N., Lovacheva O. V., Abrachenko A. V. Tuberculosis chemotherapy in Russia – the story continues. *Tuberkulez i bolezni legkikh = Tuberculosis and lung diseases*. 2023; 101 (2): 8–12. (In Russ.).
2. Aggarwal C. C. Neural networks and deep learning: a textbook. Springer; 2018. 497 p. doi 10.1007/978-3-319-94463-0 ISBN 978-3-319-94462-3.
3. Volchek Yu. A., Shishko O. N., Spiridonova O. S., Mokhort T. V. The position of the artificial neural network model in medical expert systems. *Juvenis Scientia*. 2017; (9): 4–9. doi: 10.15643/jscientia.2017.9.001. (In Russ.).
4. Kravchenko V. O. Methods of using artificial neural networks in medicine. *Ustoychivoe razvitie nauki i obrazovaniya = Sustainable development of science and education* 2018; (6): 266–270. (In Russ.).
5. Mustafaev A. G. The use of neural network technologies in the tasks of medical diagnostics. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy = Bulletin of Computer and Information Technologies*. 2019; (6 (180)): 32–38. doi: 10.14489/vkit.2019.06.pp.032-038 (In Russ.).
6. Khaykin S. Neural networks: a complete course. Moscow: Williams; 2016. 1104 p. (In Russ.).
7. Kriegeskorte N., Golan T. Neural network models and deep learning. *Curr Biol*. 2019; 29 (7): R231–236. doi: 10.1016/j.cub.2019.02.034.
8. Pérez J., Cabrera J. A., Castillo J. J., Velasco J. M. Bio-inspired spiking neural network for nonlinear systems control. *Neural Netw.* 2018; 104: 15–25. doi: 10.1016/j.neunet.2018.04.002.
9. Goryunova V. V., Goryunova T. I., Kukhtevich I. I. Analysis of the use of neural network technologies in solving diagnostic and prognostic problems in medicine. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik = International Student Scientific Bulletin*. 2017; (4-8): 1214–1216. (In Russ.).
10. Nasledov A. D. SPSS 19: Professional Statistical Data Analysis. Moscow: Piter; 2011. 540 p. (In Russ.).

Информация об авторах

М.А. Алыменко, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры фтизиатрии и пульмонологии, Казанская государственная медицинская академия – филиал Российской медицинской академии последиplomного образования, Казань, Россия, доцент кафедры общей биологии и фармации, медицинский факультет, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», e-mail: maxim.alymenko@gmail.com.

Р.Ш. Валиев, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой фтизиатрии и пульмонологии, Казанская государственная медицинская академия – филиал Российской медицинской академии последиplomного образования, Казань, Россия, e-mail: ravil.valiev@tatar.ru.

Н.Р. Валиев, кандидат медицинских наук, доцент кафедры фтизиатрии и пульмонологии, Казанская государственная медицинская академия – филиал Российской медицинской академии последипломного образования, Казань, Россия, e-mail: nailvaliev@yandex.ru.

В.М. Коломиец, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры клинической иммунологии, аллергологии и фтизиопульмонологии, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия, e-mail: vlacom@mail.ru.

С.Н. Волкова, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой физико-математических дисциплин и информатики, Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, Курск, Россия, e-mail: volkova_47@mail.ru.

А.В. Полоников, доктор медицинских наук, профессор, директор Научно-исследовательского института генетической и молекулярной эпидемиологии, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия, e-mail: polonikov@rambler.ru.

Г.С. Маль, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой общей фармакологией, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия, e-mail: mgalina.2013@mail.ru.

И.Н. Трагира, главный инфекционист Центрального федерального округа, руководитель Центра общей инфектологии, Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных болезней, Москва, Россия, e-mail: habicheva72@mail.ru.

В.А. Рагулина, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры биологической химии, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия, e-mail: mgalina.2013@mail.ru.

Е.В. Попова, врач-педиатр, Воронежская областная детская клиническая больница № 2, Воронеж, Россия, e-mail: elizabethvromanov@gmail.com.

Е.П. Павленко, ассистент кафедры клинической иммунологии, аллергологии и фтизиопульмонологии, Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия, e-mail: pavl-co.eliza@yandex.ru.

Н.П. Балобанова, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой общей биологии и фармации, медицинский факультет, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия, e-mail: Balobanova.np@yandex.ru.

А.В. Батищев, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Искусственный интеллект и анализ данных», Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия, e-mail: bat-a-v@yandex.ru.

Information about the authors

М.А. Alymenko, Cand. Sci. (Med.), Assistant of Department, Kazan State Medical Academy – branch of the Russian Medical Academy for Post-Graduate Education, Kazan, Russia, Associate Professor the Department of General Biology and Pharmacy, Faculty of Medicine, Moscow Financial and Industrial University “Synergy”, Moscow, Russia, e-mail: maxim.alymenko@gmail.com.

Р.Ш. Валиев, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Department, Kazan State Medical Academy – branch of the Russian Medical Academy for Post-Graduate Education, Kazan, Russia, e-mail: ravil.valiev@tatar.ru.

Н.Р. Валиев, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of Department, Kazan State Medical Academy – branch of the Russian Medical Academy for Post-Graduate Education, Kazan, Russia, e-mail: nailvaliev@yandex.ru.

В.М. Kolomiets, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of Department, Kursk State Medical University, Kursk, Russia, e-mail: vlacom@mail.ru.

С.Н. Волкова, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department, Kursk State Agricultural University of I.I. Ivanov, Kursk, Russia, e-mail: volkova_47@mail.ru.

А.В. Polonikov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Director of Research Institute of Genetic and Molecular Epidemiology, Kursk State Medical University, Kursk, Russia, e-mail: polonikov@rambler.ru

Г.С. Mal, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Department, Kursk State Medical University, Kursk, Russia, e-mail: mgalina.2013@mail.ru.

И.Н. Трагира, Chief infectiologist of Central Federal District, Head of the Center of the General Infektologiya, National Medical Research Center of a Ftiziopulmonologiya and Infectious Diseases, Moscow, Russia, e-mail: habicheva72@mail.ru.

В.А. Ragulina, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of Department, Kursk State Medical University, Kursk, Russia, e-mail: mgalina.2013@mail.ru.

Е.В. Popova, pediatrician, Voronezh regional children's hospital No. 2, Voronezh, Russia, e-mail: elizabethvromanov@gmail.com.

E.P. Pavlenko, Assistant of Department, Kursk State Medical University, Kursk, Russia, e-mail: pavl-co.eliza@yandex.ru.

N.P. Balobanova, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of the Department of General Biology and Pharmacy, Faculty of Medicine, Moscow Financial and Industrial University “Synergy”, Moscow, Russia, e-mail: Balobanova.np@yandex.ru.

A.V. Batishchev, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department “Artificial Intelligence and Data Analysis”, Moscow, Russia, e-mail: bat-a-v@yandex.ru.*

* Статья поступила в редакцию 28.06.2023; одобрена после рецензирования 30.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.

The article was submitted 28.06.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.