

Эффективность нейросетевого прогноза фатального события при использовании общепринятых факторов риска по данным тридцатилетнего проспективного наблюдения

Вилков В. Г., Шальнова С. А., Капустина А. В., Муромцева Г. А., Имаева А. Э.,
Баланова Ю. А., Драпкина О. М.

ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России.
Москва, Россия

Цель. Изучить прогностическую эффективность нейросетевых моделей для оценки вероятности фатального исхода в течение 30 лет при использовании традиционных факторов риска.

Материал и методы. Из российской части исследования Липидных клиник 1975-1982гг включены 13263 мужчины и 5691 женщина с наблюдением до 2017г. Сравнивали с находящимися в открытом доступе данными обследования в 1988-1994гг 3606 мужчин и 2199 женщин популяции США из исследования NHANES III (The Third National Health and Nutrition Examination Survey) с наблюдением до 2019г. Конечной точкой являлась смерть от всех причин. Анализировали пол, возраст, величины артериального давления, частоты сердечных сокращений, индекса массы тела, показатели липидов крови, статусы курения и образования, наличие артериальной гипертензии и гипотензии. Для построения многомерных моделей использовали программы-имитаторы искусственных нейронных сетей (ИНС).

Результаты. Для каждой из 4 когорт (мужчин и женщин России, мужчин и женщин США) обучали 1000 ИНС типа 3-слойный персептрон, для 500 лучших моделей строили Receiver Operator Characteristic (ROC)-кривые, в итоге получали совокупность из 500 ROC-кривых. Рассчитывали средние площади под ROC-кривыми, для когорт России и США они составили порядка 0,8 и 0,9, соответственно. Это приблизительно соответствует максимальным долям правильных предсказаний 73-77% в России и 83-85% в США. Стабильность и непротиворечивость результатов в обучающей и тестовой подвыборках в когортах как России, так и США свидетельствуют об адекватности использованного нами подхода к построению прогностических моделей.

Заключение. Нейросетевые модели прогноза вероятности фатального исхода по данным 30-летнего проспективного наблюдения продемонстрировали высокую эффективность — средние площади под ROC-кривыми в тестовых подвыборках составили 0,8-0,9.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, факторы риска, общая смертность, проспективное наблюдение, популяция России, популяция США, NHANES III.

Отношения и деятельность. Работа выполнена в рамках Государственного задания "Разработка экспертной системы оценки "успешного старения" населения РФ, с учетом психологического и физического состояния здоровья в качестве инструмента прогнозирования популяционного и индивидуального риска", регистрационный номер: 124013100888-0.

Благодарности. Сопоставление с данными о популяции США стало возможным благодаря свободному доступу к данным исследований серии NHANES, предоставленному the National Center for Health Statistics (NCHS) США. Ответственность за результаты анализа, интерпретации и выводы лежит на авторах, ответственность NCHS ограничивается первичными данными.

Поступила 02/03-2026

Рецензия получена 05/03-2026

Принята к публикации 19/03-2026



Для цитирования: Вилков В. Г., Шальнова С. А., Капустина А. В., Муромцева Г. А., Имаева А. Э., Баланова Ю. А., Драпкина О. М. Эффективность нейросетевого прогноза фатального события при использовании общепринятых факторов риска по данным тридцатилетнего проспективного наблюдения. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2026;25(3):4826. doi: 10.15829/1728-8800-2026-4826. EDN: ISYBLN

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: vilkov_vladimir@list.ru

[Вилков В. Г.* — д.м.н., в.н.с. отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0003-0263-494X, Шальнова С. А. — д.м.н., профессор, руководитель отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0003-2087-6483, Капустина А. В. — с.н.с. отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0002-9624-9374, Муромцева Г. А. — к.б.н., в.н.с. отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0002-0240-3941, Имаева А. Э. — д.м.н., в.н.с. отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0002-9332-0622, Баланова Ю. А. — д.м.н., в.н.с. отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0001-8011-2798, Драпкина О. М. — д.м.н., профессор, академик РАН, директор, ORCID: 0000-0002-4453-8430].

Адреса организационных авторов: ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России, Петроверигский пер., д. 10, стр. 3, Москва, 101990, Россия.
Addresses of the authors' institutions: National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation, Petroverigsky Lane, 10, bld. 3, Moscow, 101990, Russia.

Effectiveness of a neural network-based fatal event prediction using conventional risk factors based on thirty-year prospective follow-up

Vilkov V. G., Shalnova S. A., Kapustina A. V., Muromtseva G. A., Imaeva A. E., Balanova Yu. A., Drapkina O. M.
National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine. Moscow, Russia

Aim. To study the predictive effectiveness of neural network models for 30-year prediction of fatal outcomes using conventional risk factors.

Material and methods. A total of 13263 men and 5691 women from the Russian part of the Lipid Clinics study from 1975-1982 were included, with follow-up through 2017. A comparison was made between 3606 men and 2199 women from the US population from the Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III) conducted between 1988 and 1994, with follow-up through 2019. The endpoint was all-cause mortality. Sex, age, blood pressure, heart rate, body mass index, blood lipids, smoking status, education status, and the presence of hypertension and hypotension were analyzed. Artificial neural network (ANN) simulators were used to construct multivariate models.

Results. For each of the four cohorts (Russian men and women, US men and women), 1000 3-layer perceptron ANNs were trained. Receiver Operator Characteristic (ROC) curves were constructed for the 500 best models, resulting in a set of 500 ROC curves. We calculated the average areas under the ROC curves for the Russian and US cohorts; they were approximately 0,8 and 0,9, respectively. This corresponds roughly to the maximum percentages of correct predictions of 73-77% in Russia and 83-85% in the US. The stability and consistency of the results in the training and test subsamples in both the Russian and US cohorts demonstrate the adequacy of our approach to constructing predictive models.

Conclusion. Neural network models for predicting the probability of fatal outcomes based on 30-year prospective follow-up demonstrated high performance as follows: average areas under the ROC curves in the test subsamples were 0,8-0,9.

Keywords: artificial neural networks, risk factors, all-cause mortality, prospective follow-up, Russian population, US population, NHANES III.

Relationships and Activities. This work was conducted within the State Assignment "Development of an Expert System for Assessing "Successful Aging" of the Russian Population, Taking into Account Psychological and Physical Health as a Tool for Predicting Population and Individual Risk"; registration number: 124013100888-0.

Acknowledgements. Comparison with US population data was made possible through open access to NHANES data provided by the US National Center for Health Statistics (NCHS). Responsibility for the analysis results, interpretations, and conclusions lies with the authors; the responsibility of the NCHS is limited to the primary data.

Vilkov V. G.* ORCID: 0000-0003-0263-494X, Shalnova S. A. ORCID: 0000-0003-2087-6483, Kapustina A. V. ORCID: 0000-0002-9624-9374, Muromtseva G. A. ORCID: 0000-0002-0240-3941, Imaeva A. E. ORCID: 0000-0002-9332-0622, Balanova Yu. A. ORCID: 0000-0001-8011-2798, Drapkina O. M. ORCID: 0000-0002-4453-8430.

*Corresponding author: vilkov_vladimir@list.ru

Received: 02/03-2026

Revision Received: 05/03-2026

Accepted: 19/03-2026

For citation: Vilkov V. G., Shalnova S. A., Kapustina A. V., Muromtseva G. A., Imaeva A. E., Balanova Yu. A., Drapkina O. M. Effectiveness of a neural network-based fatal event prediction using conventional risk factors based on thirty-year prospective follow-up. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2026;25(3):4826. doi: 10.15829/1728-8800-2026-4826. EDN: ISYBLN

АД — артериальное давление, ДАД — диастолическое АД, ИНС — искусственная нейронная сеть, ЛВП — липопротеины высокой плотности, РФ — Российская Федерация, САД — систолическое АД, ФР — факторы риска, ХС — холестерин, AUC ROC — площадь под ROC-кривой, NHANES III — The Third National Health and Nutrition Examination Survey, ROC — Receiver Operator Characteristic.

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- Известно влияние на дожитие факторов риска (ФР), в т.ч. возраста, уровня артериального давления, частоты сердечных сокращений, нарушений липидного спектра крови, ожирения, курения и уровня образования.
- Известные зависимости дожития от ФР в большинстве случаев исследовались с применением множественной линейной регрессии. Однако известно, что в медико-биологических исследованиях предпочтительно использование нелинейных статистических методов.

Что добавляют результаты исследования?

- Посредством применения нелинейных по своей природе искусственных нейронных сетей показана достижимая прогностическая эффективность перечисленных ФР при 30-летнем проспективном наблюдении за российской популяцией.

Key messages

What is already known about the subject?

- The influence of risk factors (RFs) on survival is known, including age, blood pressure, heart rate, blood lipid profile abnormalities, obesity, smoking, and education level.
- The known relationships between survival and RFs were in most cases examined using multiple linear regression. However, it is known that nonlinear statistical methods are preferable in biomedical research.

What might this study add?

- Using nonlinear artificial neural networks, the achievable prognostic effectiveness of the listed risk factors was demonstrated in a 30-year prospective study of the Russian population.

Введение

В течение половины века концепция факторов риска (ФР) имеет основополагающее значение для клинической эпидемиологии, профилактической медицины и их практических приложений [1, 2]. Уточнение прогноза нежелательных событий возможно как посредством обнаружения и изучения новых ФР [3, 4], так и путем совершенствования анализа дожития с использованием известных традиционных ФР. Последний подход имеет ряд преимуществ, в частности обусловленных наличием накопленной за значительное время базы знаний.

Исследовали связи общепринятых ФР с вероятностью фатального исхода по данным длительного проспективного наблюдения в крупных популяционных исследованиях: российской части исследования Липидных клиник и исследовании популяции США NHANES III (National Health and Nutrition Examination Survey III). В серии предшествующих статей [5–7] на этом материале нами показано, что по данным об изученных ФР прогноз фатального события при сроках наблюдения до 40 лет с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) в принципе возможен. При этом связи ФР с исходом в значительной мере носят сложный и нелинейный характер, поскольку среди исследованных типов ИНС стабильно лучшие результаты показали многослойные перцептроны с относительно большим количеством нейронов, успешно моделирующие сложные нелинейные зависимости [5]. Значимость практически всех изученных ФР у мужчин и женщин в нейросетевых моделях прогноза возрастает при увеличении времени наблюдения от 10 до 30 лет.

Цель — изучить максимально достижимую прогностическую эффективность нейросетевых моделей для оценки вероятности фатального исхода при использовании доступных ФР при сроке проспективного наблюдения 30 лет.

Материал и методы

Российские данные получены в одномоментном популяционном исследовании 1975–1982 гг в Институте профилактической кардиологии Всесоюзного кардиологического научного центра АМН СССР, в настоящее время Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины Минздрава России (НМИЦ ТПМ) [8] с проспективным наблюдением за смертностью по состоянию на 2017 г, продолжительность наблюдения до 42 лет. В анализ включены 13263 мужчины и 5691 женщина в возрасте 18–82 лет с непропущенными значениями всех изученных показателей, с общим количеством "человеко-лет" наблюдения 456269.

Для сравнения использовали общедоступные данные исследования неорганизованной популяции гражданского населения США NHANES III 1988–1994 гг с проспективным наблюдением за смертностью до 2019 г¹ про-

должительностью до 31 года. Описание исследования доступно на сайте The National Center for Health Statistics (NCHS)². В настоящий анализ включены результаты обследования лиц белой расы в возрасте 18–90 лет (3606 мужчин и 2199 женщин, всего 120791 "человеко-лет" наблюдения).

Анализировали пол, возраст и величины показателей, характеризующих ряд ФР хронических неинфекционных заболеваний: артериальной гипертензии и гипотензии, частоты сердечных сокращений, концентраций в сыворотке крови общего холестерина (ХС), ХС липопротеинов высокой плотности (ЛВП), триглицеридов, индекса массы тела, статусов курения и образования.

Для оценки нарушений регуляции артериального давления (АД) использовали три количественные переменные: систолическое, диастолическое АД (САД, ДАД) и рассчитанную по формуле Хикэма величину среднего динамического АД. Использовали также две номинальные переменные: 1) индикатор артериальной гипертензии (номинативная переменная с двумя значениями) — если САД и (или) ДАД в момент обследования >139 и (или) 89 мм рт.ст., соответственно; 2) индикатор артериальной гипотензии (разработанный нами ранее критерий прогностически неблагоприятной артериальной гипотензии, номинативная переменная с двумя значениями) — если величина среднего динамического АД меньше пограничной величины, которая в российской популяции составляет 70 мм рт.ст. для мужчин и 68 мм рт.ст. для женщин, в популяции США соответствующие величины 76 и 72 мм рт.ст. [9].

Характеризующая статус курения номинативная переменная имела два значения — никогда не курил или бросил курить/курит в настоящее время. Характеризующая статус образования номинативная переменная имела два значения — образование не выше среднего/выше среднего.

В предшествующей публикации [6] обоснован выбор 30-летнего срока наблюдения как наиболее информативного из имеющихся в нашем распоряжении для российской когорты. Повторение такого анализа для когорты США дало схожий результат, поэтому далее будем рассматривать именно 30-летнее наблюдение.

Смерть от всех причин при сроке наблюдения 30 лет использовали в качестве конечной точки.

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Статистический анализ. Использовали свободно распространяемое программное обеспечение и пробные версии продуктов компаний IBM Corp. и StatSoft, Inc.

Строили нейросетевые модели зависимости вероятности фатального события (смерти от всех причин) от ФР, использовали полносвязные ИНС с прямым распространением сигнала [10].

Модели представляли собой ИНС-классификаторы типа 3-слойный перцептрон с одним промежуточным слоем. В качестве входных элементов ИНС использовали характеризующие ФР показатели, включавшие 12 переменных, из них 8 количественных (возраст, САД, ДАД, частота сердечных сокращений, индекса массы тела, концентрации в сыворотке крови ХС общего и ХС ЛВП,

¹ <https://www.cdc.gov/nchs/data-linkage/mortality-public.htm>.

² National Health and Nutrition Examination Survey: Questionnaires, Datasets, and Related Documentation. <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/Default.aspx>.

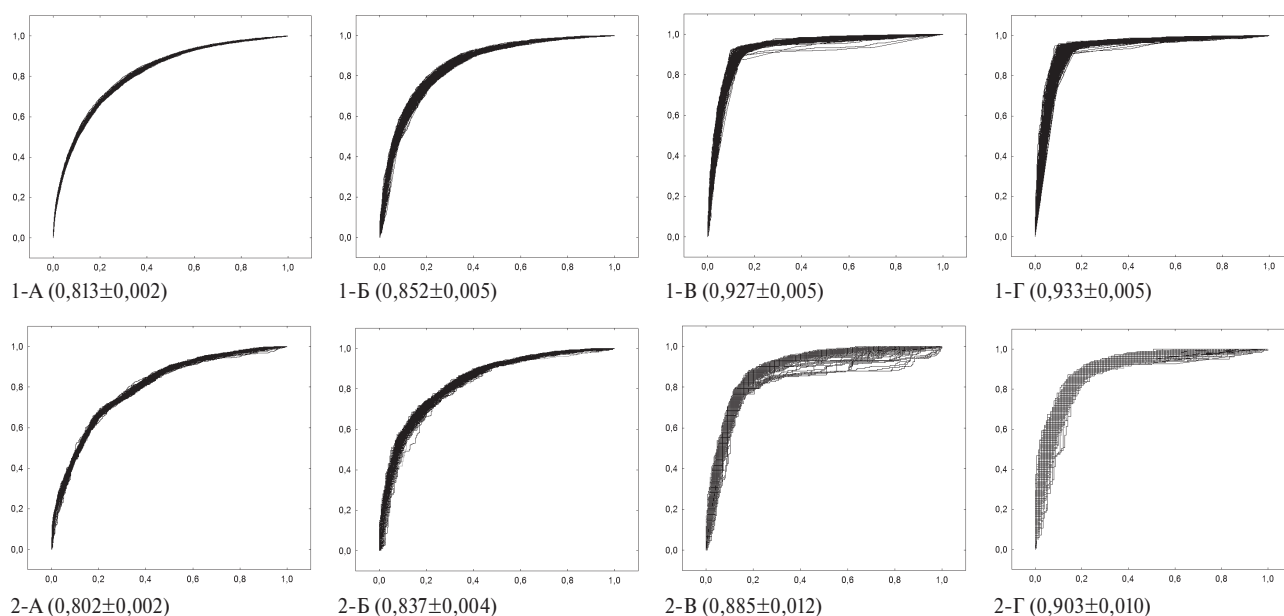


Рис. ROC-кривые в когортах мужчин и женщин РФ, мужчин и женщин США для нейросетевых моделей при проспективном наблюдении за общей смертностью в течение 30 лет: А — мужчины РФ, Б — женщины РФ, В — мужчины США, Г — женщины США.

Примечания: по оси ординат доля истинно положительных результатов, по оси абсцисс — доля ложноположительных результатов.

Строка 1 — для нейросетей, обученных на 100% наблюдений, ROC-кривые для всех наблюдений, входные переменные: возраст, систолическое и диастолическое артериальное давление, частота сердечных сокращений, уровни общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой плотности, триглицеридов, индекс массы тела, индикаторы курения, образования, артериальной гипертензии и гипотензии (пояснения в тексте).

Строка 2 — для нейросетей, обученных на 70% наблюдений, ROC-кривые для тестовой подвыборки из 15% наблюдений, входные переменные аналогичны строке 1.

В скобках — средняя величина площадей под ROC-кривыми $\pm$ стандартное отклонение ($AUC \pm SD$), число ROC-кривых 500.

AUC ROC — площадь под ROC-кривой, ROC — Receiver Operator Characteristic.

триглицеридов) и 4 номинативных (статусы курения, образования, индикаторы артериальной гипертензии и артериальной гипотензии). Выходной элемент ИНС представлял собой псевдовероятность отнесения данного наблюдения к одному из двух классов: 1) умер от любой причины в течение 30 лет наблюдения, 2) жив либо сведения отсутствуют.

Модели зависимости вероятности фатального исхода от совокупности ФР строили отдельно для мужчин и женщин Российской Федерации (РФ), мужчин и женщин США, для срока наблюдения 30 лет, всего 4 объекта анализа. Для каждого из объектов обучали 1000 ИНС типа 3-слойный персептрон, среди которых отбирали 500 лучших ИНС.

Для каждой когорты ИНС обучали дважды. Первый раз — все доступные наблюдения включали в обучающую выборку, результаты представлены в 1 строке рисунка (1А-1Г). Второй раз обучение ИНС производилось на 70% наблюдений, 15 и 15% наблюдений использовали в качестве верифицирующей и тестовой подвыборок, для каждой ИНС разбивка на три указанные подвыборки производилась заново случайным образом. Верифицирующая подвыборка использовалась для проверки результатов обучения, тестовая в процессе обучения не участвовала, она использовалась однократно после завершения обучения для оценки экстраполирующей возможности окончательного варианта обученной ИНС (строка 2 рисунка, 2А-2Г).

Для оценки прогностической эффективности моделей и их сравнения для каждой ИНС строили ROC-

кривую (Receiver Operator Characteristic), по совокупности этих кривых для 500 лучших ИНС рассчитывали площади под ROC-кривыми (AUC ROC) и стандартное отклонение средней величины AUC ROC.

Результаты

Описательные статистики, характеризующие включенные в модели переменные, представлены в предшествующей публикации [11].

Прогностическую эффективность модели оценивали по ROC-кривой. Для каждого объекта анализа строили 1000 моделей с автоматическим отбором 500 лучших (с наименьшими ошибками), для каждого варианта модели строили ROC-кривую. Так получали совокупность (облако) ROC-кривых.

На рисунке представлены облака ROC-кривых при обучении моделей на всех имеющихся наблюдениях в каждой из 4-х когорт (строка 1, А-Г). ROC-кривые характеризуют модели прогноза для когорт мужчин РФ (А), женщин РФ (Б), мужчин США (В) и женщин США (Г). Модели используют, по существу, все доступные независимые (входные) переменные: возраст, САД, ДАД, частота сердечных сокращений, концентрации ХС общего и ХС ЛВП, триглицеридов, индекса массы тела, а также номинативные переменные с двумя значениями каждая, характеризующие статусы курения, образования,

наличие артериальной гипертензии и артериальной гипотензии. Вклад отдельных переменных был описан ранее [7]. Не использовались количественные переменные, которые однозначно рассчитываются из САД и ДАД, ХС общего и ХС ЛВП. Из характеризующих наличие артериальной гипертензии и артериальной гипотензии переменных с учетом результатов опубликованных ранее работ использованы описанные выше варианты индикаторов артериальной гипертензии и гипотензии [7, 9].

Помимо обучения ИНС на всех доступных наблюдениях было проведено обучение аналогичных моделей на 70% наблюдений, отобранных случайным образом. Еще 15% наблюдений использовали для верифицирующей подвыборки для контроля процесса обучения. Последние 15% наблюдений использовали для тестовой подвыборки, никак не участвовавшей в процессе обучения ИНС, облака ROC-кривых для этих наблюдений представлены в строке 2 рисунка. Из сравнения со строкой 1 видно, что средние AUC ROC несколько уменьшились, но это не носит принципиального характера.

Обсуждение

Представленные в строке 1 рисунка ROC-кривые отражают максимально достижимую прогностическую эффективность изучаемых нейросетевых моделей, поскольку модели обучали на всех доступных наблюдениях и результаты оценивали на этой же выборке. Следует отметить, что прогностическая точность моделей весьма высокая — усредненные AUC ROC для когорт РФ и США превышают 0,82 и 0,93, соответственно (максимальные доли правильных предсказаний >74 и 89%, соответственно).

При использовании нейросетевых методов важную роль приобретает эффект переобучения, когда ИНС в процессе обучения подстраивается к конкретным наблюдениям, из которых состоит обучающая выборка. В результате для других наблюдений, не участвовавших в процессе обучения, точность такой ИНС снижается, иногда катастрофически. Это явление наблюдается и при использовании обычного многомерного регрессионного анализа (чрезмерная подгонка модели к данным), но оно отчасти сглажено за счет ограниченных возможностей регрессионных техник.

Для потенциально более мощных нейросетевых моделей данная проблема становится более актуальной. Поэтому при обучении моделей, предназначенных для реальных калькуляторов риска, следует позаботиться об улучшении их экстраполяционных возможностей. Для ИНС обычно применяют случайное разделение имеющихся наблюдений (примеров) на 3 подвыборки — обучающую, верифицирующую и тестовую [10]. Результаты в последней наиболее приближены к достижимым на новых неизвестных наблюдениях, что обычно соче-

тается со снижением точности прогноза в сравнении с обучением на всех наблюдениях. Мы использовали соотношение числа наблюдений в обучающей, верифицирующей и тестовой подвыборках как 70, 15 и 15%, соответственно, при построении каждой новой ИНС перемешивание происходило заново случайным образом. Для каждой когорты ИНС обучали на подвыборке из 70% наблюдений, а ROC-кривые строили применительно к тестовой подвыборке.

ROC-кривые для таких моделей применительно к неиспользовавшейся при обучении ИНС тестовой подвыборке представлены в строке 2 рисунка. Как и следовало ожидать, в тестовой подвыборке площади под ROC-кривыми уменьшились в сравнении со строкой 1 рисунка, но не критично, результаты остаются весьма хорошими. Именно на эти показатели эффективности прогнозных моделей следует ориентироваться для новых, не участвовавших в обучении, наблюдений.

Ограничения исследования. Связи ФР с исходами могут различаться в зависимости от времени проведения и дизайна проспективного исследования. При эмуляции ИНС с использованием разного программного обеспечения вполне вероятны несколько различающиеся результаты. Максимально осторожные выводы можно сформулировать следующим образом — полученные в наших вычислительных экспериментах показатели эффективности нейросетевого прогноза рассматриваются как в принципе достижимые.

Заключение

Нейросетевые модели прогноза вероятности фатального исхода по данным 30-летнего проспективного наблюдения продемонстрировали весьма высокую прогностическую эффективность. Есть основания полагать, что достижение таких результатов в значительной степени обусловлено преимуществами ИНС, в т.ч. присущей им изначально нелинейностью.

Продемонстрированная стабильность и непротиворечивость результатов в обучающей и тестовой подвыборках в когортах как РФ, так и США, служит веским доводом в пользу адекватности использованного нами подхода к построению прогностических моделей.

Обращают на себя внимание более сильные связи ФР с вероятностью фатального исхода в когортах США в сравнении с РФ. Это приблизительно соответствует максимальным долям правильных предсказаний 83-85% в США и 73-77% в РФ.

Благодарности. Сопоставление с данными о популяции США стало возможным благодаря свободному доступу к данным исследований серии NHANES, предоставленному the National Center for

Health Statistics (NCHS) США. Ответственность за результаты анализа, интерпретации и выводы лежит на авторах, ответственность NCHS ограничивается первичными данными.

Отношения и деятельность. Работа выполнена в рамках Государственного задания "Разработ-

ка экспертной системы оценки "успешного старения" населения РФ, с учетом психологического и физического состояния здоровья в качестве инструмента прогнозирования популяционного и индивидуального риска", регистрационный номер: 124013100888-0.

Литература/References

1. Fletcher RH, Fletcher SW, Wagner EH. Clinical epidemiology. The essentials. М.:Media Sfera, 1998:250-4. (In Russ.) Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины. М.:Медиа Сфера, 1998:250-4. ISBN: 5-89084-011-8.
2. Shalnova SA, Oganov RG, Deev AD. Assessment and management of total cardiovascular disease risk in Russian population. Cardiovascular Therapy and Prevention. 2004;3(4):4-11. (In Russ.) Шальнова С.А., Оганов Р.Г., Деев А.Д. Оценка и управление суммарным риском сердечно-сосудистых заболеваний у населения России. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2004;3(4):4-11.
3. Shalnova SA, Imaeva AE, Kapustina AV, et al. Mortality in 55 years and older population and its relation with ischemic heart disease, traditional risk factors and inflammation markers: the results of prospective cohort study. Russian Journal of Cardiology. 2016;21(6):15-9. (In Russ.) Шальнова С.А., Имаева А.Э., Капустина А.В. и др. Смертность населения 55 лет и старше и ее ассоциации с ишемической болезнью сердца, традиционными факторами риска и маркерами воспаления: результаты Проспективного когортного исследования. Российский кардиологический журнал. 2016;21(6):15-9. doi:10.15829/1560-4071-2016-6-15-19.
4. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Eur Heart J. 2021;42(34):3227-337. doi:10.1093/eurheartj/ehab484.
5. Vilkov VG, Shalnova SA. Rationale for the use of non-linear statistical methods in the analysis of relationships between risk factors and fatal events according to the data of long-term prospective observation in population of Russia and the United States of America. Russian Journal of Preventive Medicine. 2024;27(11):34-9. (In Russ.) Вилков В.Г., Шальнова С.А. Обоснование применения нелинейных статистических методов при анализе связей факторов риска с фатальными событиями по данным длительного проспективного наблюдения в популяциях России и Соединенных Штатов Америки. Профилактическая медицина. 2024;27(11):34-9. doi:10.17116/profmed20242711134.
6. Vilkov VG, Shalnova SA, Balanova YuA, et al. Neural network analysis of the relationships of risk factors with a fatal event depending on prospective follow-up duration. Cardiovascular Therapy and Prevention. 2025;24(4):4324. (In Russ.) Вилков В.Г., Шальнова С.А., Баланова Ю.А. и др. Нейросетевой анализ связей факторов риска с фатальным событием в зависимости от продолжительности проспективного наблюдения. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2025;24(4):4324. doi:10.15829/1728-8800-2025-4324.
7. Vilkov VG, Shalnova SA, Balanova YuA, et al. Quantitative and nominative indicators of blood pressure regulation violations in the neural network fatal event prediction according to the prospective observation. Russian Journal of Preventive Medicine. 2025;28(4):39-44. (In Russ.) Вилков В.Г., Шальнова С.А., Баланова Ю.А. и др. Количественные и номинативные показатели нарушений регуляции артериального давления при нейросетевом прогнозе фатального события по данным проспективного наблюдения. Профилактическая медицина. 2025;28(4):39-44. doi:10.17116/profmed20252804139.
8. Shalnova SA, Deev AD, Shestov DB. Prognostic assessment of epidemiological characteristics of ischemic heart disease. Kardiologiia. 1997;37(9):49-54. (In Russ.) Шальнова С.А., Деев А.Д., Шестов Д.Б. Прогностическая оценка эпидемиологических характеристик ишемической болезни сердца. Кардиология. 1997;37(9):49-54.
9. Vilkov VG, Balanova YuA, Kapustina AV, et al. Hypotension and survival: diagnostic criteria in Russian and United States population. Russian Journal of Cardiology. 2021;26(5):4365. (In Russ.) Вилков В.Г., Баланова Ю.А., Капустина А.В. и др. Артериальная гипотензия и дожитие: диагностические критерии в популяциях Российской Федерации и Соединенных Штатов Америки. Российский кардиологический журнал. 2021;26(5):4365. doi:10.15829/1560-4071-2021-4365.
10. Neural networks: STATISTICA Neural Networks. М.: Goryachaya liniya-Telekom, 2001:1-182. (In Russ.) Нейронные сети: STATISTICA Neural Networks. М.: Горячая линия-Телеком, 2001:1-182. ISBN: 5-93517-015-9.
11. Vilkov VG, Shalnova SA, Kapustina AV, et al. Comparison of thirty-year survival in the populations of Russia and the United States of America. Cardiovascular Therapy and Prevention. 2023;22(5):3556. (In Russ.) Вилков В.Г., Шальнова С.А., Капустина А.В. и др. Сравнение тридцатилетнего выживания в популяциях России и Соединенных Штатов Америки. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023;22(5):3556. doi:10.15829/1728-8800-2023-3556. EDN: YDTCDO.