

Здравоохранение в информационном обществе**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РЕЦИДИВОВ ИНФАРКТА МИОКАРДА, РЕАЛИЗОВАННАЯ КАК
МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ**

Статья рекомендована к публикации членом редакционного совета А.Н.Райковым 27.03.2022 г.

Брежнев Алексей Викторович

Кандидат технических наук

*ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», кафедра информатики,
доцент*

Москва, Российская Федерация

brezhnev.av@rea.ru

Томакова Римма Александровна

Доктор технических наук, профессор

*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», кафедра программной инженерии,
профессор*

Курск, Российская Федерация

rtomakova@mail.ru

Черных Евгений Владимирович

*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», кафедра программной инженерии,
студент*

Курск, Российская Федерация

Erepticav@gmail.com

Аннотация

Важной задачей повышения качества оказания медицинской помощи людям с ишемической болезнью сердца и перенесшим острый инфаркт миокарда является своевременное и точное прогнозирование возможных рецидивов и прогрессирования инфаркта миокарда у исследуемой категории больных. Цель исследования заключается в разработке информационной системы, позволяющей прогнозировать вероятность наступления рецидива инфаркта миокарда на основе построения нечетких математических моделей. В качестве математического аппарата для разработки информационной системы выбрана технология мягких вычислений, основанная на методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил. Для построения модели был реализован метод формирования признакового пространства. С этой целью была сформирована группа из шести экспертов – врачей, специализирующихся в области кардиологии. На экспертном уровне установлены 18 информативных признаков, которые были разделены на четыре блока. По сформированному набору признаков синтезирована нечеткая прогностическая модель. Качество работы информационной системы проверялось экспертным оцениванием, математическим моделированием и статистическими испытаниями на репрезентативных контрольных выборках. В ходе проведенных исследований было показано, что уверенность в правильном прогнозе превышает величину 0,85, что является хорошим результатом для медицинских прогностических задач. В работе сформировано пространство информативных признаков. Реализованные методы и синтезированная прогностическая модель позволяют рекомендовать результаты исследований в медицинскую практику как в составе информационных систем для врачей-кардиологов, так и в виде прикладных программ для планшетов и смартфонов.

Ключевые слова

© Брежнев А.В., Томакова Р.А., Черных Е.В., 2023.

Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «Атрибуция — Некоммерческое использование — На тех же условиях» Всемирная 4.0 (Creative Commons Attribution – NonCommercial - ShareAlike 4.0 International; CC BY-NC-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.ru>

https://doi.org/10.52605/16059921_2023_01_116

информационная система, моделирование систем диагностики социально значимых заболеваний, информативные признаки, прогноз, инфаркт миокарда, математическая модель, нечеткая логика, функция принадлежности

Введение

В настоящее время одной из основных причин смертности населения в экономически развитых странах является инфаркт миокарда (ИМ). По данным Европейского кардиологического общества, смертность пациентов от ИМ в возрасте от 35 до 64 лет в России оказалась самой высокой в Европе, составляя у мужчин более 350 на 100 000 человек в год.

Распространенность инфаркта миокарда среди населения характеризуется рядом факторов. Среди них можно выделить пожилой возраст, пол, семейный анамнез, сахарный диабет и этническую принадлежность, повышенное содержание холестерина в крови, высокое артериальное давление, ожирение, гиподинамию. Важную роль в этиологии ИМ играют курение и психоэмоциональные факторы, а также нарушения перекисного окисления липидов (ПОЛ) и снижение антиоксидантной активности (АОА).

Главной задачей лечения таких пациентов является максимальное снижение общего риска осложнений, смертности от этих заболеваний и улучшение прогноза. Это предполагает коррекцию факторов риска: отказ от курения, нормализацию психоэмоционального статуса, снижение гиперхолестеринемии, профилактику сахарного диабета, ПОЛ и АОА, а также лечение сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваний.

Одним из путей повышения качества оказания медицинской помощи людям с ишемической болезнью сердца (ИБС) и перенесшим острый ИМ является своевременное и точное прогнозирование возможных рецидивов и прогрессирования ИМ у исследуемой категории больных.

Разработанная информационная система для мобильного приложения позволяет хранить и анализировать персональную медицинскую информацию большого объема, а также назначать эффективные и своевременные способы профилактики и лечения. Задача прогнозирования ИМ не является тривиальной в связи с отсутствием точного, чёткого и однозначного описания взаимосвязи между признаками, характеризующими состояние больного с ИБС [1–4].

Многочисленные исследования в области совершенствования прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения различных заболеваний показывают, что наилучших результатов удастся достичь при использовании адекватных математических методов с привлечением современных информационных и интеллектуальных технологий, позволяющих поднять на новый качественный уровень решение задач прогнозирования ИБС и ИМ [5–7].

Разработка математических моделей прогнозирования и метода профилактики рецидивов ИМ для системы интеллектуальной поддержки принятия решений врача-кардиолога, позволяющих повысить качество ведения пациентов с исследуемой патологией и сократить сроки их лечения [8–10].

Разработанные модели, методы и алгоритмы составили основу для построения информационной системы для прогнозирования рецидивов ИМ, реализованной как мобильное приложение. Клинические испытания информационной системы проводились в течение 2021 года с участием 128 пациентов двух разных возрастных групп и показали целесообразность ее использования в медицинской практике.

Применение используемых в информационной системе разработок позволяет прогнозировать возникновение ИМ и рецидива уже существующего заболевания, рационализировать, персонализировать и повысить качество профилактических мероприятий, лечебных процедур, сократить сроки лечения без существенного повышения временных и технико-экономических затрат лечебно-профилактического процесса.

1 Базовые предпосылки построения модели

Для разработки информационной системы были использованы методы синтеза решающих правил.

В соответствии с рекомендациями экспертов были выделены блоки признаков, которые агрегированы частными решающими правилами вида:

$$UR_q(p+1) = UR_q(p) + Z_q(p+1)[1 - UR(p)]$$

$$Z_q(p) = \mu_{\omega_i}(x_i), \mu_i(y_i)$$

где $Z_q(p) = \mu_{\omega_i}(x_i), \mu_i(y_i)$; $i=1, \dots, I$; $=1, \dots, J$ p - номер итерации; UR - уверенность в рецидиве ИМ в реабилитационном периоде; q - номер блока признаков.

Частные решающие правила агрегируются в финальное правило оценки уверенности URF в том, что у пациента будет наблюдаться рецидив ИМ в течение заданного времени в соответствии с выражением:

$$URF(q+1) = URF(q) + UR_{q+1}[1 - URF(q)],$$

где $URF(1) = UR_1$.

Из признаков эксперты отобрали 18 показателей: x_1, \dots, x_{18} : x_1 - возраст; x_2 - пол; x_3 - семейное положение; x_4 - анамнез по ишемической патологии сердца; x_5 - наличие в анамнезе ИБС (аналогично x_4); x_6 - сахарный диабет; x_7 - наличие ожирения; x_8 - гиподинамия; x_9 - курение; x_{10} - употребление алкоголя; x_{11} - частые стрессовые ситуации; x_{12} - значение уровня содержания холестерина в крови; x_{13} - значение показателей артериального давления; x_{14} - сократительная функция миокарда; x_{15} - общая продолжительность ишемических изменений по ЭКГ; x_{16} - смещение сегмента ST; x_{17} - частота сердечных сокращений; x_{18} - количество аритмических эпизодов за сутки.

Для построения функций принадлежности к классу $\omega_{ри}$ по показателям ПОЛ и АОА предлагается в качестве базовых переменных использовать отклонения измеряемых показателей от их номинальных значений, т. е.

$$\delta_{x_{П}} = \frac{x_{П}^H - x_{П}^T}{x_{П}^H} 100\%;$$

$$\delta_{x_{А}} = \frac{x_{А}^H - x_{А}^T}{x_{А}^H} 100\%.$$

где $x_{П}^H$ и $x_{А}^H$ - ПОЛ и АОА, измеренное на репрезентативной группе здоровых людей; $x_{П}^T = x_{19}$ и $x_{А}^T = x_{20}$ - ПОЛ и АОА у обследуемого пациента.

Частная нечеткая модель прогноза по классу $\omega_{ри}$ с учетом рекомендаций имеет вид:

$$\text{ЕСЛИ } (\delta_{x_{П}} > 10\%) \text{ И } (\delta_{x_{А}} > 10\%) \text{ ТО } [UR_2 = \mu_{\omega_{ри}}(\delta_{x_{П}}) + \mu_{\omega_{ри}}(\delta_{x_{А}}) [1 - \mu_{\omega_{ри}}(\delta_{x_{П}})]]$$

$$\text{ИНАЧЕ } [UR_2 = 0],$$

где

$$\mu_{\omega_{ри}}(\delta_{x_{П}}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta_{x_{П}} < 10\%; \\ 0,006\delta_{x_{П}} - 0,06, & \text{если } 10\% \leq \delta_{x_{П}} < 50\%; \\ 0,25, & \text{если } \delta_{x_{П}} \geq 50\%, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{ри}}(\delta_{x_{А}}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta_{x_{А}} < 10\%; \\ 0,003\delta_{x_{А}} - 0,03, & \text{если } 10\% \leq \delta_{x_{А}} < 60\%; \\ 0,15, & \text{если } \delta_{x_{А}} \geq 60\%. \end{cases}$$

Уверенность в том, что в реабилитационном периоде будет наблюдаться рецидив ИМ, определяется выражением:

$$UR_4 = \begin{cases} 0, & \text{если } YH < 0,3; \\ 0,67YH - 0,2, & \text{если } 0,3 \leq YH < 0,9; \\ 0,4, & \text{если } YH \geq 0,9. \end{cases}$$

2 Программная реализация

На этой математической основе был разработан программный продукт, реализованный на языке программирования Java. В качестве среды разработки принята Android Studio. Отличительной особенностью разработанного программного продукта является возможность его использования в качестве приложения для Android.

Запустив приложение, пользователь окажется на странице авторизации, как показано на рисунке 1. Если пользователь уже зарегистрирован, то необходимо ввести свой e-mail и пароль для входа в аккаунт. При первом запуске приложения нужно пройти регистрацию, для этого необходимо нажать на кнопку «Зарегистрироваться?». Также есть возможность запомнить введенные данные для быстрого доступа к аккаунту.

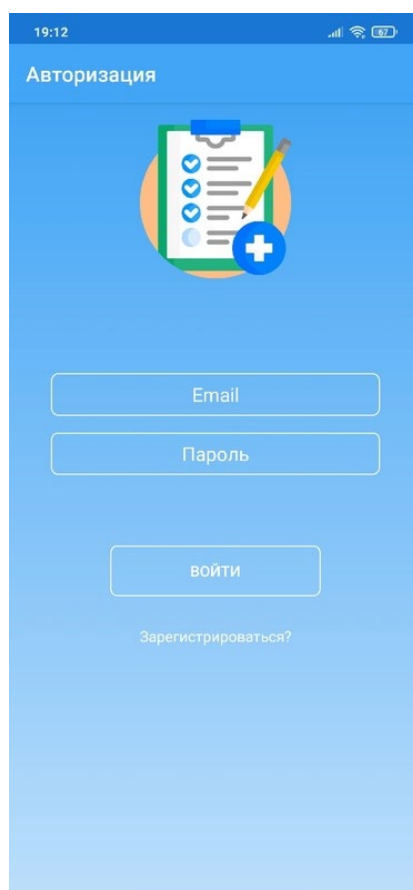


Рисунок 1. Страница авторизации

При нажатии на кнопку «Зарегистрироваться?» пользователю будет предоставлен выбор аккаунта для регистрации «Аккаунт Врача» или «Аккаунт Пациента», как показано на рисунке 2. При выборе элемента списка пользователь будет перенаправлен на соответствующую страницу (рисунок 3).

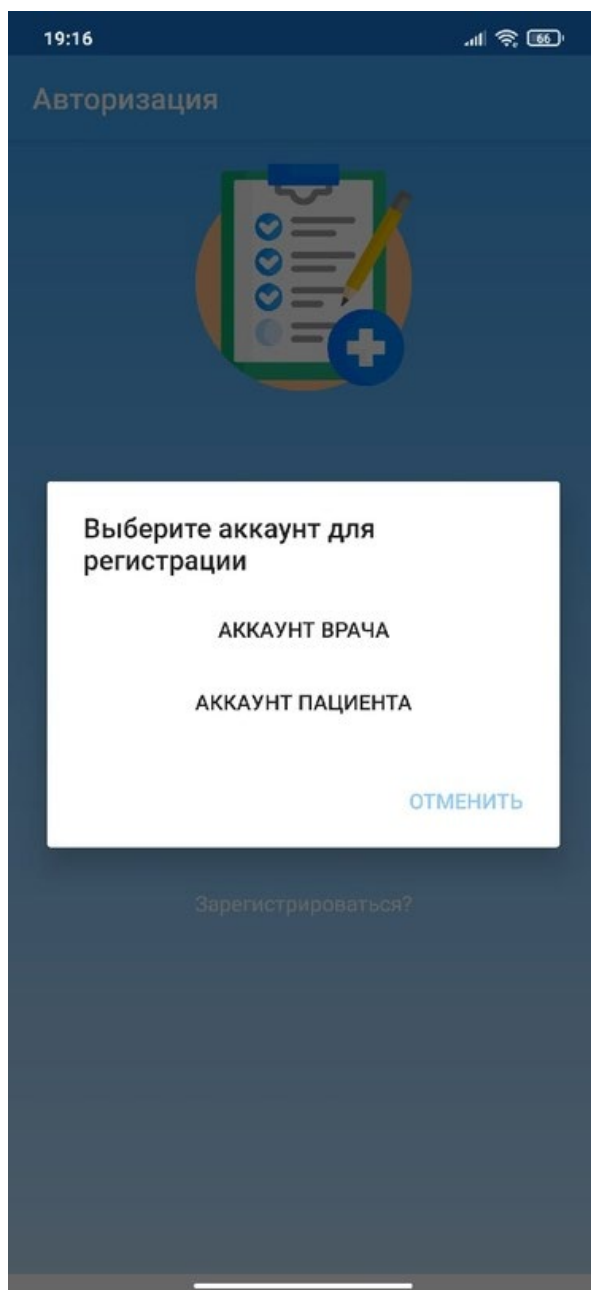


Рисунок 2. Выбор аккаунта для регистрации

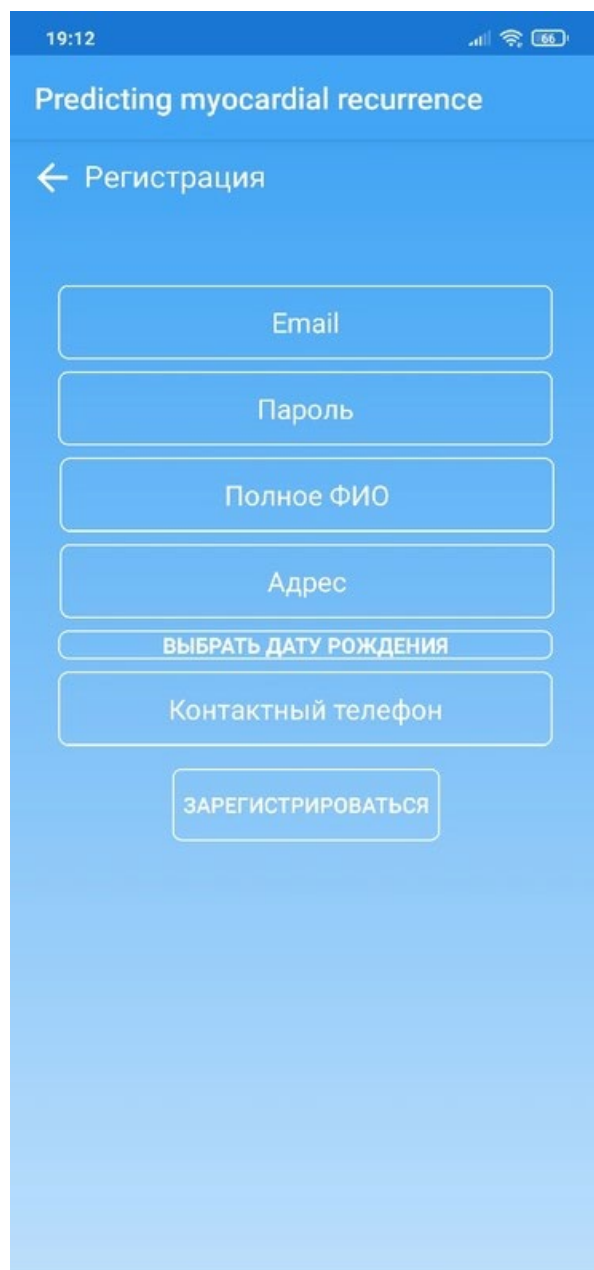


Рисунок 3. Страница регистрации для пользователя с выбранным аккаунтом

На рисунке 4 представлена страница полезной информации для пользователя с аккаунтом пациента. Здесь пользователь может прочитать материалы для профилактики, реабилитации и предупреждении повторного ИМ.

На рисунке 5 представлена страница профиля с записью на приём для пользователя с аккаунтом пациента.

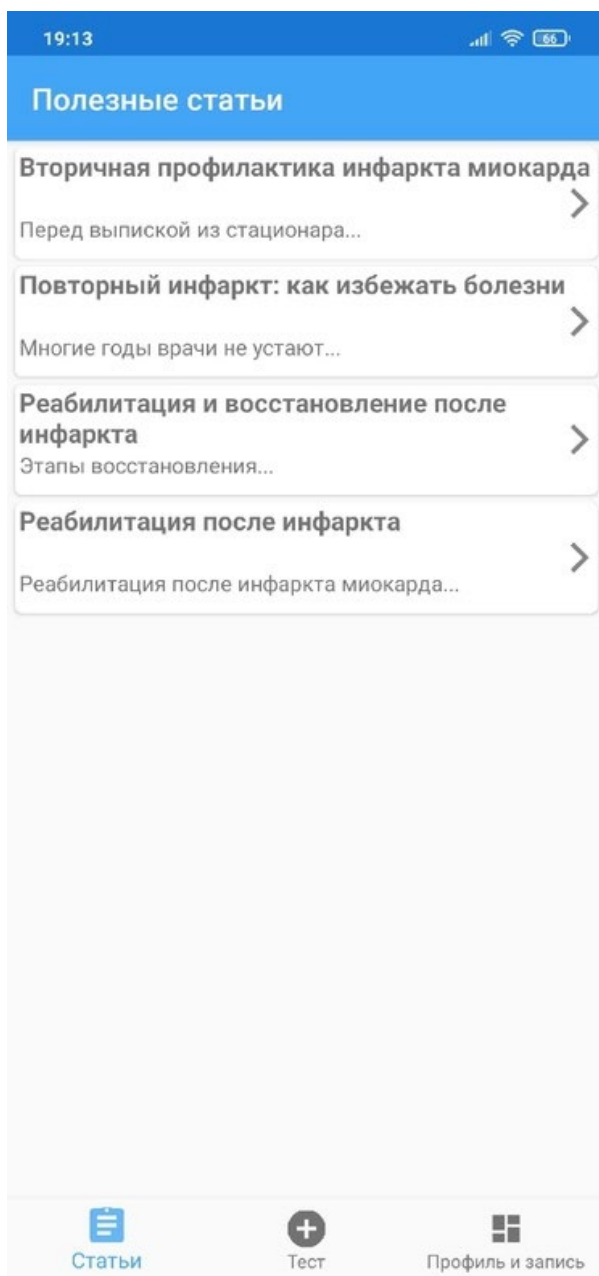


Рисунок 4. Страница статей для пользователя с ролью пациент

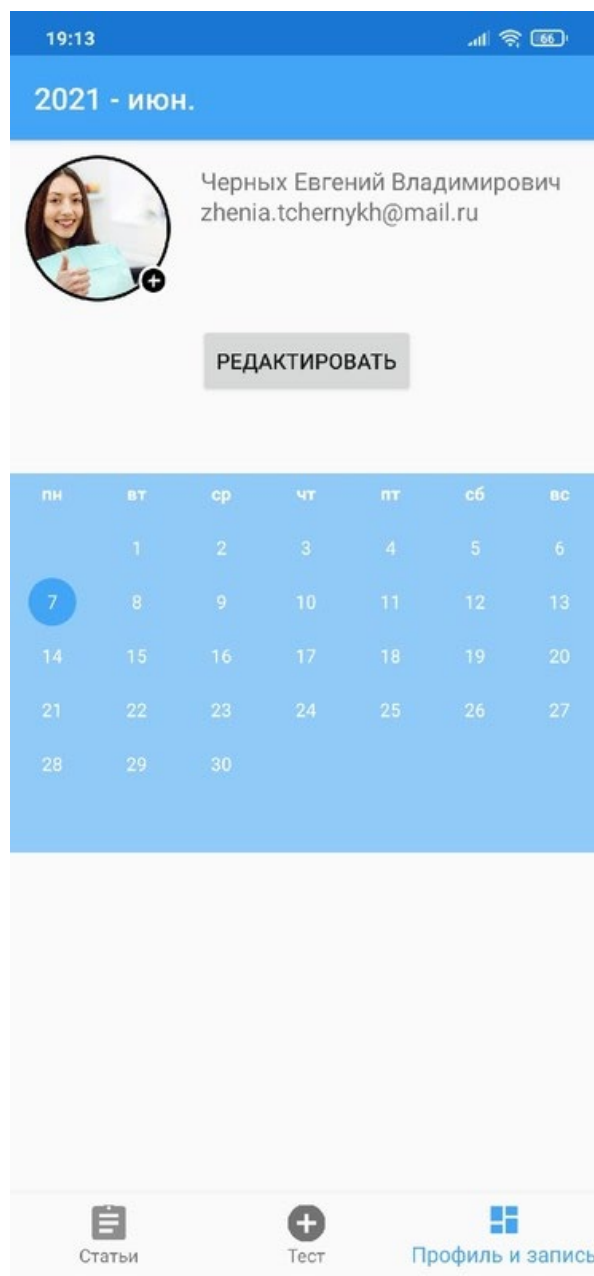


Рисунок 5. Профиль для пользователя с ролью пациента

На рисунке 6 представлена страница профиля с записью на приём для пользователя с аккаунтом врача.

Пользователю с аккаунтом пациента доступен для прохождения тест для определения вероятности повторного проявления ИМ. Страница теста представлена на рисунке 7.

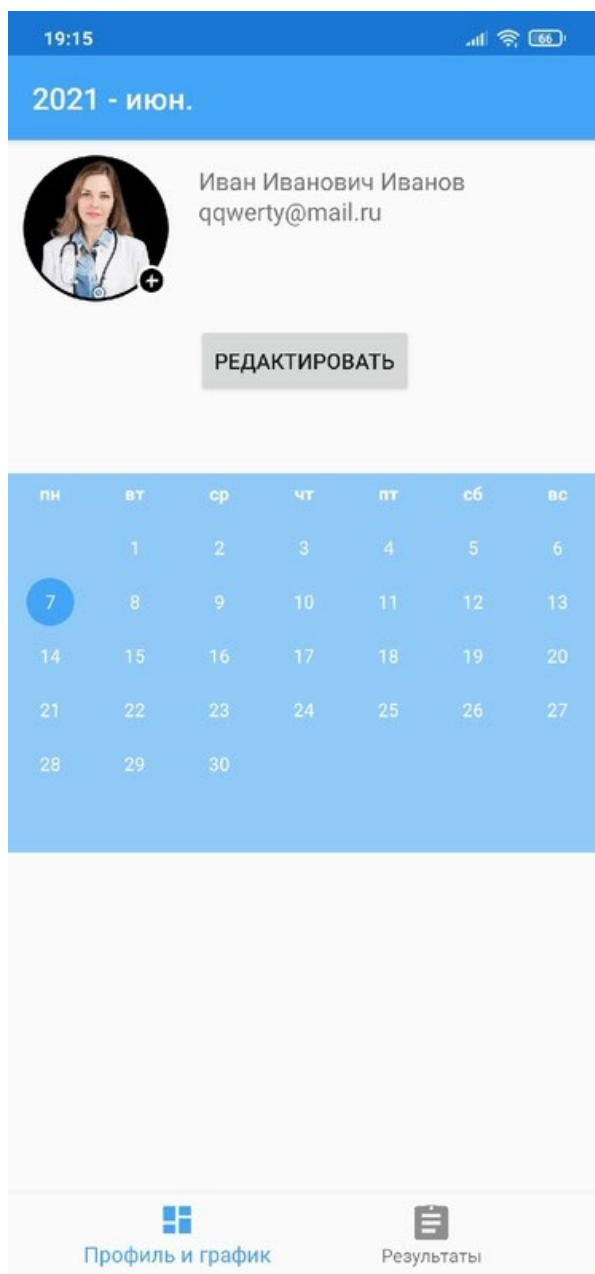


Рисунок 6. Профиль пользователя с аккаунтом врача

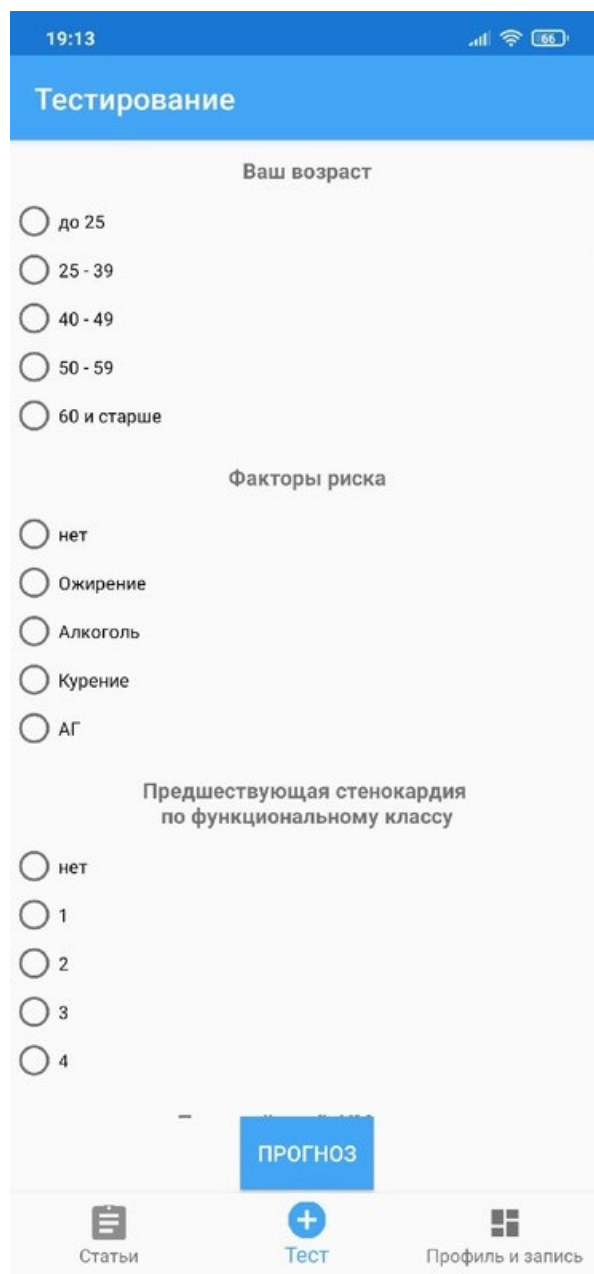


Рисунок 7. Страница тестирования

При нажатии на кнопку «Прогноз» произойдёт подсчёт результатов тестирования, основанный на введённых пользователем данных. Результат прохождения тестов показан на рисунке 8.

Пользователь с аккаунтом врача предоставляет возможность просматривать результаты тестирования пациентов и провести консультацию по дальнейшему лечению по телефону, нажав на иконку вызова. Результаты показаны на рисунке 9.

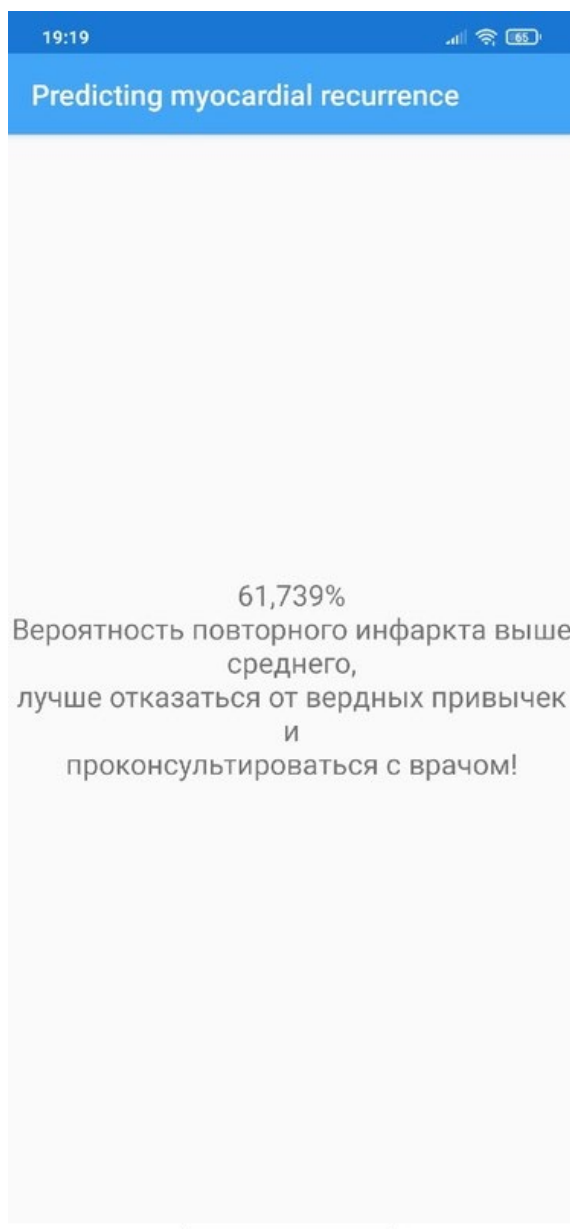


Рисунок 8. Страница результата тестирования

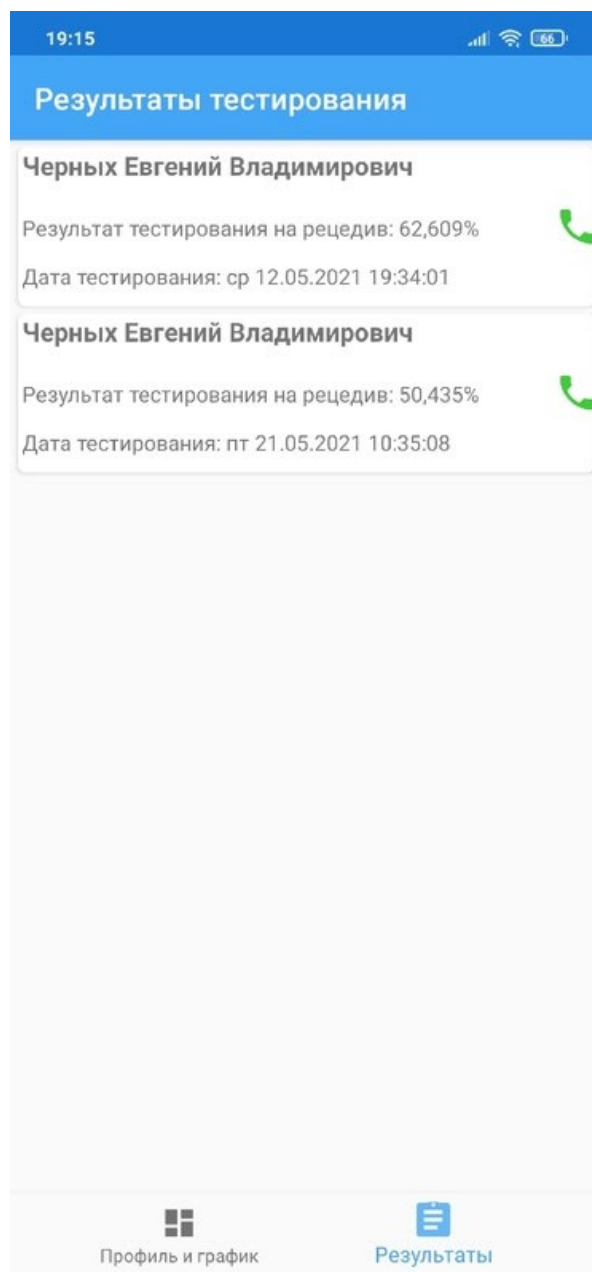


Рисунок 9. Страница результатов тестирования пользователей для аккаунта врача

Заключение

В ходе экспертного оценивания и математического моделирования было установлено, что использование всех четырех частных нечетких решающих моделей позволяет получить уверенность в прогнозе появления рецидива инфаркта миокарда 0,85 и выше в зависимости от количества и качества собираемой информации.

Благодарности

Авторы статьи выражают искреннюю признательность ректору Юго-Западного государственного университета доктору технических наук, профессору члену-корреспонденту РААСН С.Г. Емельянову и заведующему кафедрой биомедицинских исследований академику МАНЭБ, ИО, заслуженному деятелю науки РФ, почетному работнику высшего профессионального образования

РФ, доктору технических наук, профессору Корневскому Николаю Алексеевичу за ценные советы в подготовке рукописи статьи.

Литература

1. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем / Н.А. Корневский // Медицинская техника, 2015, № 1 (289) С. 33-35.
2. Корневский, Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования/ Н.А. Корневский //Телекоммуникации. 2006. № 6. С.25-31.
3. Корневский, Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С.99-103.
4. Filist S.A., Shatalova O.V., Petrunina E.V. Intellectual Systems With Virtual Flows in Predicting Cardiovascular Complications. Proceedings – 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon.2019. 2019. С.8867719.
5. Tomakova R., Filist S., Veynberg R., Brezhnev A., Brezhneva A. The role of hybrid classifiers in problems of chest roentgenogram classification // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Т. 902. С. 293–303.
6. Корневский, Н.А. Нейронные сети с макрослоями для классификации и прогнозирования патологий сетчатки глаза/ Н.А. Корневский, Р.А. Томакова, С.П. Серегин, А.Ф. Рыбочкин//Медицинская техника. 2013. №4(280). С. 16-18.
7. Tomakova, R.A. Classification of multichannel Images Baed Cellular Processes/ R.A. Tomakova,S.A. Filist, A.I. Pykhtin A.I., S.V. Ostrotskaia //19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference proceedings. 2019. С. 145-152.
8. Томакова, Р.А. Метод классификации рентгенограмм на основе использования глобальной информации об их структуре/Р.А. Томакова, М.В. Томаков, И.В. Дураков, В.В. Жилин// Биомедицинская радиоэлектроника.2014. Т. 4, № 1. С.89-97.
9. Tomakova, R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I., Shutkin A.N. Intelligent Medical Decision Suport System Based on Internet-Technology //16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGE 2016. Conference proceedings. 2016. С. 263-270.
10. Tomakova R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I. Development and Research of Methods And Algorithms For Intelligent Systems For Complex Structured Images Classification// Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. 22. P. 6039-6041.

INFORMATION SYSTEM FOR PREDICTING RECURRENCE OF MYOCARDIAL INFARCTION, IMPLEMENTED AS A MOBILE APPLICATION

Brezhnev Alexey Viktorovich

Candidate of technical sciences

FSBEI HE Russian University of Economics n. a. G.V. Plekhanov", Department of informatics, associate professor

Moscow, Russian Federation

brezhnev.av@rea.ru

Tomakova Rimma Aleksandrovna

Doctor of technical sciences, professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Southwestern State University", Department of software engineering, professor

Kursk, Russian Federation

rtomakova@mail.ru

Chernykh Evgeny Vladimirovich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Southwestern State University", Department of software engineering, student

Kursk, Russian Federation

Ferenicav@gmail.com

Abstract

An important task of improving the quality of medical care for patients with coronary heart disease (CHD) and those who have suffered acute myocardial infarction (MI) is timely and accurate prediction of possible relapses and progression of myocardial infarction in the studied category of patients. The aim of the study is to develop an information system that allows predicting the likelihood of recurrence of myocardial infarction based on the construction of fuzzy mathematical models. Soft computing technology based on the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules was chosen as a mathematical apparatus for the development of an information system. To build the model, the method of forming a feature space was implemented. For this purpose, a group of experts consisting of six experts, consisting of doctors specializing in cardiology, was formed. At the expert level, the composition of informative signs was established, consisting of 18 signs, which were divided into four blocks. According to the formed set of features, a fuzzy predictive model was synthesized. The quality of the information system was checked by expert evaluation, mathematical modeling and statistical tests on representative control samples. In the course of the conducted studies, it was shown that the confidence in the correct prognosis exceeds the value of 0.85, which is a good result for medical prognostic tasks. The space of informative features is formed in the work. The implemented methods and the synthesized prognostic model allow us to recommend the results of research in medical practice both as part of information systems for cardiologists and in the form of application programs for tablets and smartphones.

Keywords

information system, modeling of diagnostic systems of socially significant diseases, informative signs, prognosis, myocardial infarction, mathematical model, fuzzy logic, membership function.

References

1. Korenevsky, N.A. The use of fuzzy logic of decision-making for medical expert systems / N.A. Korenevsky // *Medical Technology*, 2015, No. 1 (289), pp. 33-35.
2. Korenevsky, N.A. Designing decision-making systems on fuzzy network models in the tasks of medical diagnostics and forecasting/ N.A. Korenevsky // *Telecommunications*. - 2006. No. 6, pp. 25-31.
3. Korenevsky, N.A. Method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for the analysis and management of the state of biotechnical systems. *Proceedings of the Southwestern State*

- University. Series: Management, Computer engineering, Computer science. Medical instrumentation. 2013. No. 2, pp.99-103.
4. Filist S.A., Shatalova O.V., Petrunina E.V. Intellectual Systems With Virtual Flows in Predicting Cardiovascular Complications. Proceedings – 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon.2019. 2019. С. 8867719.
 5. Tomakova R., Filist S., Veynberg R., Brezhnev A., Brezhneva A. THE ROLE OF HYBRID CLASSIFIERS IN PROBLEMS OF CHEST ROENTGENOGRAM CLASSIFICATION // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Т. 902. С. 293-303.
 6. Korenevsky, N.A. Neural networks with macro layers for classification and prediction of retinal pathologies/ N.A. Korenevsky, R.A. Tomakova, S.P. Seregin, A.F. Rybochkin//Medical equipment. 2013. No. 4(280), pp. 16-18.
 7. Tomakova, R.A. Classification of multichannel Images Baed Cellular Processes/ R.A. Tomakova,S.A. Filist, A.I. Pykhtin A.I., S.V. Ostrotskaia //19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference proceedings. 2019. С. 145-152.
 8. Tomakova, R.A. Method of classification of radiographs based on the use of global information about their structure/ R.A. Tomakova, M.V. Tomakov, I.V. Durakov, V.V. Zhilin// Biomedical radio electronics.2014. Т /4, No. 1, pp.89-97.
 9. Tomakova, R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I., Shutkin A.N. Intelligent Medical Decision Support System Based on Internet-Technology //16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGE 2016. Conference proceedings. 2016. P. 263-270.
 10. Tomakova R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I. Development and Research of Methods And Algorithms For Intelligent Systems For Complex Structured Images Classification// Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. 22. P. 6039-6041.