Врач и информационные технологии

Научно-практический журнал

№ 4
2020

Врач
и информационные
технологии

ISSN 1811-0193

МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

INTERIN
технологии

www.interin.ru
info@interin.ru
+7 (495) 220-82-35

PROMIS ALPHA

СОВЕРШЕННЫЙ ФУНКЦИОНАЛ В НОВОМ ИСПОЛНЕНИИ

Многолетний опыт
Признанная эффективность
Новые технологии

- Собственная web-платформа
- Легкая в установке
- Простая в освоении
- Работает в любых браузерах
- Удобный интерфейс
- Совместимость с iOS и Android

Врач и информационные технологии

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК по специальности:

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки).

Журнал включен в ядро РИНЦ.

Журнал включен в базу данных RUSSIAN SCIENCE CITATION INDEX на платформе Web of Science.

Журнал включен в репозиторий открытого доступа «КиберЛенинка».

Врач и информационные технологии

№ 4
2020

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Стародубов В.И., д.м.н., профессор, академик РАН,
научный руководитель ФГБУ ЦНИИОЗ Минздрава России,
представитель России в Исполнительном Комитете ВОЗ

ШЕФ-РЕДАКТОР
Куракова Н.Г., д.б.н., зав. отделением научно-технологического прогнозирования
в области биомедицины ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Зарубина Т.В., д.м.н., профессор, заведующая кафедрой медицинской кибернетики
и информатики РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России
Столбов А.П., д.т.н., профессор кафедры организации здравоохранения,
медицинской статистики и информатики факультета повышения профессионального
образования врачей Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
Гусев А.В., к.т.н., член экспертного совета Минздрава по вопросам использования
ИКТ, член наблюдательного совета ассоциации «Национальная база медицинских
знаний», эксперт компании «Комплексные медицинские информационные системы»

МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

А.Н. Путинцев, В.Ю. Воинова, Н.С. Демикова, А.С. Лапина

Веб-приложение «Врожденные пороки и аномалии развития»: оценка эффективности на основе обратной связи 6-13

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

С.П. Морозов, А.В. Владзимирский, Н.В. Ледихова, А.Е. Андрейченко, К.М. Арзамасов, Э.А. Баланюк, В.А. Гомболевский, С.О. Ермолаев, В.С. Живоденко, И.М. Идрисов, Ю.С. Кирпичев, Т.А. Логунова, В.А. Нуждина, О.В. Омелянская, В.Г. Раковчен, А.В. Слепушкина

Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов 14-23

А.В. Гусев, Р.Э. Новицкий

Технологии прогнозной аналитики в борьбе с пандемией COVID-19 24-33

В.С. Чернега, А.Н. Еременко, С.Н. Еременко

Повышение точности прогнозирования длительности дробления мочевых конкрементов на основе многофакторных регрессионных моделей 34-42

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Б.А. Кобринский, Д.Д. Долотова, В.В. Донитова, А.В. Гаврилов

Радиологические изображения в построении гибридной интеллектуальной системы 43-50

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК по специальности 05.13.00 (информатика, вычислительная техника и управление) и индексируется в базе данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Гулиев Я.И., к.т.н., директор Исследовательского центра медицинской информатики Института программных систем РАН им. А.К. Айламазяна
Кадыров Ф.Н., д.э.н., профессор, заместитель директора ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России
Зингерман Б.В., руководитель направления цифровой медицины ИНВИТРО
Кобринский Б.А., д.м.н., профессор, заведующий лабораторией систем поддержки принятия клинических решений Института современных информационных технологий в медицине Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН
Шифрин М.А., к.ф-м.н., руководитель медико-математической лаборатории НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко
Цветкова Л.А., к.б.н., ведущий н.с. Центра научно-технической экспертизы РАНХиГС при Президенте РФ
Кудрина В.Г., д.м.н., профессор, зав. кафедрой медицинской статистики и информатики ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России
Швырев С.Л., к.м.н., Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, кафедра медицинской кибернетики и информатики ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, Регламентная служба
Карась С.И., д.м.н., доцент, Томский НИМЦ, НИИ кардиологии
Владзимирский А.В., д.м.н., заместитель директора по научной работе Научно-практического центра медицинской радиологии Департамента здравоохранения города Москвы
Чеченин Г.И., д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой медицинской кибернетики и информатики Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России
Шульман Е.И., к.б.н., Научно-инновационная компания «Медицинские Информационные Технологии»
Карпов О.Э., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, генеральный директор ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Д.В. Гаврилов, А.В. Кирилкина, Л.М. Серова

Алгоритм формирования подозрения на новую коронавирусную инфекцию на основе анализа симптомов для использования в системах поддержки принятия врачебных решений 51-58

Э.А. Китаева, Т.А. Суетина, З.А. Абдулганиева, Э.А. Бакирова, М.Р. Китаев

Информационная система добврачебной оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний 59-67

ТЕЛЕМЕДИЦИНА

К.А. Лукина, Д.А. Зайцев, Т.Ц. Гармаева, Л.П. Менделеева

Телемедицина как инструмент межрегионального дистанционного взаимодействия с профильными медицинскими организациями субъектов Российской Федерации: 5-летний опыт ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России 68-77

ОСОБОЕ МНЕНИЕ

Л.М. Самков

Логика ментальных моделей в доказательной медицине 78-85

Указатель статей, опубликованных в журнале в 2020 г. 86-87

«ВРАЧ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Свидетельство о регистрации
№ 77-15631 от 09 июня 2003 года

Издается с 2004 года.
Включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Читатели могут принять участие в обсуждении статей, опубликованных в журнале «Врач и информационные технологии», и направить актуальные вопросы на горячую линию редакции.

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Товарный знак и название «Врач и информационные технологии» являются исключительной собственностью ООО Издательский дом «Менеджер здравоохранения». Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится данных, не подлежащих открытой публикации. Материалы рецензируются редакционной коллегией.
Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Перепечатка текстов без разрешения журнала «Врач и информационные технологии» запрещена. При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна.

За содержание рекламы ответственность несет рекламодатель.

Учредитель — ООО Издательский дом «Менеджер здравоохранения»
Издатель — ООО Издательский дом «Менеджер здравоохранения»

Адрес издателя:
107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 20, стр. 1
Адрес редакции:
127254, г. Москва, ул. Добролюбова д. 11
idmz@mednet.ru, (495) 618-07-92
Главный редактор:
академик РАН, профессор
В.И. Стародубов, idmz@mednet.ru
Зам. главного редактора:
д.м.н. Т.В. Зарубина, t_zarubina@mail.ru
д.т.н. А.П. Столбов, stolbov@mcramn.ru
Ответственный редактор:
к.т.н. А.В. Гусев, agusev@kmis.ru
Шеф-редактор:
д.б.н. Н.Г. Куракова, kurakov.s@relcom.ru
Директор отдела распространения и развития:
к.б.н. Л.А. Цветкова
(495) 618-07-92
idmz@mednet.ru, idmz@yandex.ru

Автор дизайн-макета:
А.Д. Пугаченко
Компьютерная верстка и дизайн:
ООО «Допечатные технологии»
Литературный редактор:
С.В. Борисенко

Подписные индексы:
Каталог агентства «Роспечать» — **82615**

Отпечатано в ООО «Клуб печати».
127018, г. Москва, 3-ий проезд Марьиной Рощи, д. 40, стр. 1
Тел. +7 (495) 669-5009

Дата выхода в свет 1 декабря 2020 г.
Общий тираж 2000 экз. Цена свободная.

© ООО Издательский дом «Менеджер здравоохранения»

Physicians and IT

№ 4
2020

Мы видим свою ответственность в том, чтобы Ваши статьи заняли достойное место в общемировом публикационном потоке...

MEDICAL INFORMATION SYSTEMS

A.N. Putintsev, V.Yu. Voinova, N.S. Demikova, A.S. Lapina

Web Application "Congenital Malformations": Program Effectiveness Evaluation Based on Feedback 6-13

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTH CARE

S.P. Morozov, A.V. Vladzymyrskyy, N.V. Ledikhova, A.E. Andrejchenko, K.M. Arzamasov, E.A. Balanjuk, V.A. Gombolevskij, S.O. Ermolaev, V.S. Zhivodenko, I.M. Idrisov, Ju.S. Kirpichev, T.A. Logunova, V.A. Nuzhdina, O.V. Omeljanskaja, V.G. Rakovchen, A.V. Slepushkina

Moscow experiment on computer vision in radiology: involvement and participation of radiologists 14-23

A.V. Gusev, R.E. Novitsky

Predictive analytics technologies in the management of the COVID-19 pandemic 24-33

V.S. Chernega, A.N. Eremenko, S.N. Eremenko

Increased accuracy of prediction of fragmentation duration of urinary stones based on multifactorial regression models 34-42

DIAGNOSTIC SYSTEMS

B.A. Kobrinskii, D.D. Dolotova, V.V. Donitova, A.V. Gavrilov

Radiological Images in the Construction of Hybrid Intelligent System 43-50

Журнал входит в топ-5 по импакт-фактору Российского индекса научного цитирования журналов по медицине и здравоохранению

DECISION SUPPORT SYSTEMS

D.V. Gavrilov, A.V. Kirilkina, L.M. Serova

Algorithm for forming a suspicion of a new coronavirus infection based on the analysis of symptoms for use in medical decision support systems 51-58

E.A. Kitaeva, T.A. Suetina, Z.A. Abdulganieva, E.A. Bakirova, M.R. Kitaev

Non-infectious diseases information system for pre-military evaluation of the risk 59-67

TELEMEDICINE

K.A. Lukina, D.A. Zaytcev, T.T. Garmaeva, L.P. Mendeleeva

Telemedicine as a tool for remote interaction with regional hospitals: 5-year experience of the National Research Center for Hematology 68-77

SPECIAL OPINION

L.M. Samkov

The Logic of mental models in evidence-based medicine 78-85

Directory of articles, published in the magazine in 2020 year 86-87

А.Н. ПУТИНЦЕВ,
к.т.н., Научно-исследовательский клинический институт педиатрии ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: pa@pedklin.ru, ORCID ID: 0000-0001-6080-7445
В.Ю. ВОИНОВА,
д.м.н., Научно-исследовательский клинический институт педиатрии ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: vivoinova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-8491-0228
Н.С. ДЕМИКОВА,
д.м.н., Научно-исследовательский клинический институт педиатрии ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: ns_d@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-0623-0301
А.С. ЛАПИНА,
к.м.н., Научно-исследовательский клинический институт педиатрии ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: lapina@pedklin.ru, ORCID ID: 0000-0003-0287-5161

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «ВРОЖДЕННЫЕ ПОРОКИ И АНОМАЛИИ РАЗВИТИЯ»: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

УДК: 004.051 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-6-13*

Путинцев А.Н., Воинова В.Ю., Демикова Н.С., Лапина А.С. ***Веб-приложение «Врожденные пороки и аномалии развития»: оценка эффективности на основе обратной связи*** *(Научно-исследовательский клинический институт педиатрии ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия)*

Аннотация. В настоящее время Интернет-ресурсы широко используются в медицинском образовании, становясь одним из ключевых инструментов дистанционного обучения. Мы разработали веб-приложение по врожденным порокам и аномалиям развития для студентов-медиков в качестве дополнительного средства для самообучения. Веб-приложение содержит 2 компонента: мультимедийные описания врожденных пороков развития, включающие изображения, анимацию, видеосюжеты и интерактивные графические тесты, а также и модуль контроля знаний. Важными моментами являются улучшение качества веб-ресурсов и оценка эффективности их использования удаленными пользователями. Мы стремились оценить эффективность веб-приложения на основе анализа динамики показателей уровня знаний пользователей, чтобы использовать полученную информацию для улучшения контента. В анонимном тестировании приняли участие 260 пользователей – врачи, студенты-медики и преподаватели. С использованием лонгитюдного метода исследования мы проанализировали динамику усредненного по группе показателя – процента правильных ответов после повторных попыток тестирования. Результаты показали различия в начальном уровне знаний пользователей, при этом результаты тестов студентов-медиков в динамике были улучшены в большей степени по сравнению с результатами врачей. Начальное значение процента правильных ответов на контрольные вопросы и динамика роста этого показателя после неоднократных попыток являются важными индикаторами для оценки полезности конкретного вопроса. Для разработчиков эта информация, основанная на объективных показателях, оказалась ценной для улучшения образовательного ресурса.

Ключевые слова: *врожденные пороки развития, дистанционное обучение, эффективность, уровень знаний, мультимедиа.*

UDC: 004.051

Putintsev A.N., Voinova V.Yu., Demikova N.S., Lapina A.S. ***Web Application "Congenital Malformations": Program Effectiveness Evaluation Based on Feedback*** *(Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia)*

Abstract. Currently, Internet resources are widely used in medical education, becoming one of the key tools of e-learning. We have developed a web application for congenital malformations and anomalies for medical students as an additional tool for self-learning. The web application contains two components: multimedia descriptions of congenital malformations, including images, animations, videos and interactive graphical tests; and the knowledge control module. It is important to evaluate effectiveness of web application and to improve the quality of the resources. We sought to evaluate the effectiveness of a web application by analyzing user knowledge dynamics and use the information to improve content. The anonymous testing involved

© А.Н. Путинцев, В.Ю. Воинова, Н.С. Демикова, А.С. Лапина, 2020 г.

260 users – doctors, medical students and teachers. Using the longitudinal method of the study, we analyzed the dynamics of the group-averaged rate of correct responses after repeated testing attempts. The results showed differences in the initial level of knowledge of users, and the results of medical students' tests in dynamics were improved more than the results of doctors. The initial value of the percentage of correct responses to the control questions and the growth dynamics of this indicator after repeated attempts are important indicators for assessing the usefulness of a particular question. For developers, this information, based on objective indicators, has proved useful for improving the educational resource.

Keywords: *congenital malformations, e-learning, effectiveness, knowledge level, multimedia.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Интернет-ресурсы широко используются в медицинском образовании, особенно в условиях перехода на дистанционные формы обучения будущих специалистов-медиков [1–3]. Интернет-ресурсы востребованы в непрерывном повышении квалификации врачей, в том числе педиатрического профиля, особенно по диагностике редких форм врожденных пороков развития или синдромов с множественными врожденными аномалиями у детей. Дифференциальная диагностика многих врожденных пороков очень сложна. Это объясняется многочисленностью нозологических форм, достаточно редкой их встречаемостью, перекрываемостью симптоматики. Неправильная диагностика и неадекватное лечение врожденных аномалий нередко приводит к инвалидности в детском возрасте, поэтому врачу часто необходима информационная поддержка. При этом важна не только общая информация о врожденных пороках и аномалиях развития, но и визуализация клинических проявлений заболеваний, с которыми врач редко встречается в своей практике.

Для клинической диагностики врожденных аномалий созданы базы данных, включающие перечень синдромов, их описания, литературу и фотографии. Широко известны такие веб-приложения, как австралийская система POSSUM [4], Лондонская база данных по дисморфологии LDDB [5], французская экспертная система GENDIAG [6], описывающие несколько тысяч наследственных и тератогенных синдромов, включая список фенотипических проявлений и изображений пациентов. Эти веб-ресурсы позволяют проводить поиск синдромов по названию и по признакам. В результате поиска формируется узкий дифференциально-диагностический ряд заболеваний, фенотипически сходных с описанным случаем. При этом визуально наблюдаемые изображения – клинические проявления аномалий развития нередко позволяют выдвинуть первичную диагностическую гипотезу. Однако в настоящее время эти онлайновые базы данных в основном обеспечивают платный полный доступ, что затрудняет их использование практикующими врачами и студентами-медиками. Среди открытых веб-ресурсов следует упомянуть ресурс CDC, охватывающий 27 врожденных дефектов, включая определение, возникновение, причины, факторы риска, диагностику и лечение, изображения, а также реальные истории детей с врожденными дефектами [7]. Однако многие врожденные дефекты не включены, нет видео клинических проявлений заболеваний и анимации механизма развития патологии. В этой связи мы решили разработать веб-ресурс под названием «Врожденные пороки и аномалии развития (ВПАР)», содержащий два компонента: мультимедийное описание врожденных пороков развития и тесты для самоконтроля [8].

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Веб-приложение ВПАР содержит унифицированные описания болезней, иллюстрированные рисунками, фотографиями, анимацией и видеосюжетами. Веб-приложение построено на основе платформы Symfony PHP в парадигме Model-View-Controller. В бэкенде программы используется PHP-фреймворк Symfony, во фронтэнде – библиотека jQuery, шаблонизатор Twig v.2. В качестве основной базы данных для веб-приложения выбрана MySQL. Анимация в приложении представлена в HTML5. Веб-приложение ВПАР реализовано на русском и на английском языках. Языковая поддержка доступна как для описания пороков развития, так и для интерфейса приложения.

Данный веб-ресурс разработан для врачей различных специальностей, которые имеют дело с врожденными и наследственными заболеваниями, а также для студентов-медиков в качестве дополнительного средства для самостоятельного обучения. Свободный доступ к веб-ресурсу осуществляется по ссылке vpar. pedklin. ru. Первая версия Веб-приложения (vpr. pedklin. ru) размещена в открытом информационном пространстве с августа 2017 года.

Благодаря рассылкам информационных писем по электронной почте в медико-генетические консультации и медицинские учебные заведения нашей страны в настоящее время зарегистрировано более 1480 пользователей из 42 регионов России. Пользователи предоставляют анонимную информацию о своей медицинской специальности, виде деятельности в здравоохранении и месте проживания.

Многоаспектное описание врожденных пороков развития имеет структуру справочного пособия. В системе представлены общие вопросы, касающиеся врожденных и наследственных заболеваний: разные типы классификаций врожденных пороков развития по этиологическому, патогенетическому и анатомо-физиологическому принципам. Гиперссылки обеспечивают быстрый доступ к соответствующему контенту.

По единой схеме представлено описание 58 нозологических форм изолированных пороков развития и 25 синдромов наследственной и тератогенной природы. Описание заболевания в системе включает следующие разделы: определение, данные по популяционной частоте, этиологию, патогенез, клинические характеристики, диагностику, лечение и профилактику. Поскольку многие из представленных в системе заболеваний относятся к редким состояниям, нашей задачей было проиллюстрировать клинические симптомы заболевания, характерные и важные с диагностической точки зрения малые аномалии развития с помощью фотографий, схем, видеофильмов. Экранная страница веб-приложения изображена на *рис. 1.*

С помощью видеосюжетов воспроизводятся специфические клинические проявления врожденных аномалий. Анимационные ролики позволяют лучше объяснить патологические процессы, которые происходят на различных уровнях организма, в работе нормального и порочного органа, например, сердца, почек и других органов, что способствует лучшему усвоению учебного материала. Интерактивные графические тесты повышают мотивацию студентов в процессе самообучения. На *рис. 2* изображена экранная страница с мультимедийными ресурсами. В частности, графический тест включает элементы анимации, которые демонстрируют механизмы хромосомных мутаций. Соединяя стрелкой соответствующие панели с помощью мыши, пользователь устанавливает соответствие между номером картинки и типом мутации. В случае неверного ответа пользователю дается возможность получить подсказку и ответить на вопрос повторно.

Образовательный ресурс помимо структурированного описания врожденных дефектов

Рис. 1. **Многооконный интерфейс веб-приложения: синдром Прадера-Вилли**

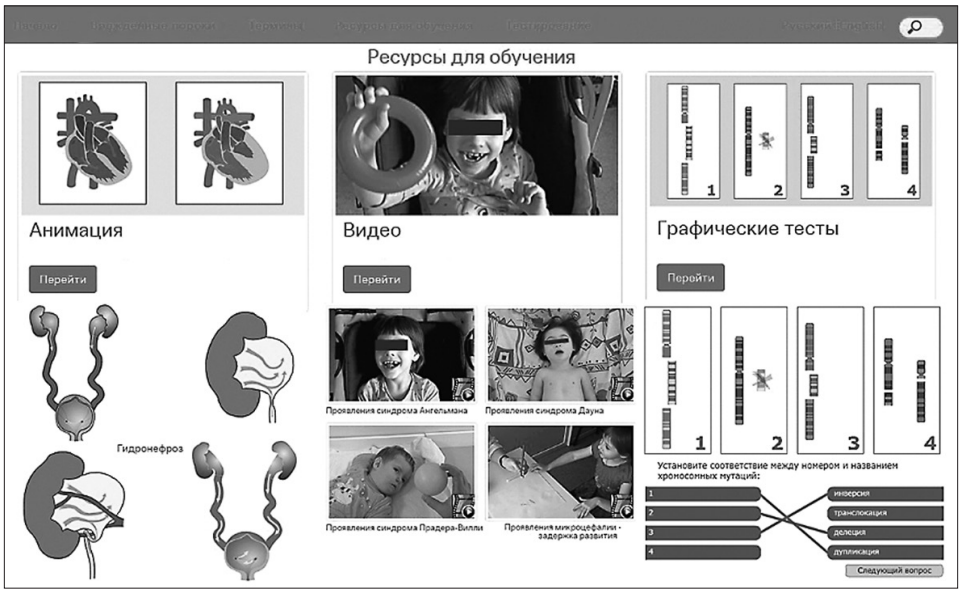


Рис. 2. **Мультимедийные ресурсы обучающей системы**

и синдромов содержит глоссарий, алфавитный и предметный указатели, что облегчает поиск заболеваний.

Для контроля знаний в систему включены тесты, охватывающие все разделы обучающей части. Тестирование можно проводить по нескольким разделам: общие вопросы, классификация, клинические проявления, профилактика и лечение. Тесты разделены на 2 группы по сложности. После регистрации и выбора раздела пользователь отвечает на предложенные вопросы, выбирая один или несколько правильных ответов. По окончании тестирования выдается отчет, содержащий процент правильных ответов и информацию об ошибках, что позволяет вернуться к тем разделам, которые недостаточно изучены, чтобы пересдать тест и улучшить результаты. Нет необходимости находить правильные ответы во внешних источниках; вся нужная информация доступна в обучающей части веб-приложения. Ведение архива дает возможность пользователю просмотреть историю результатов тестирования, а средства контекстного поиска позволяют быстро найти необходимую информацию для правильного ответа на тот или иной вопрос.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧАЮЩИХ ВЕБ-РЕСУРСОВ

Исследования эффективности веб-ресурсов в медицинском образовании показали, что студенты как правило удовлетворены простотой доступа, удобством навигации и интерактивностью электронного обучения, однако отмечается отсутствие статистической разницы между знаниями и навыками студентов, полученными в результате онлайн-обучения по сравнению с традиционным [9, 10]. Эффективность электронной обучающей программы может быть оценена с точки зрения существенных изменений в знаниях, взглядах или навыках со стороны пользователей программы [11]. Оценки эффективности во многом различны: часть из них направлена только на качественную оценку эффективности, часть включает также и количественную оценку [12]. Одна из самых популярных моделей оценки эффективности обучения – модель Киркпатрика [13], которая включает несколько уровней и позволяет комплексно оценить эффективность обучающих программ. Цель исследований первого уровня – получить обратную связь от учащихся, оценить степень удовлетворения пользования системой. Для оценки используют стандартные анкеты и онлайн-опросы, которые, несмотря на их простоту и удобство, не лишены большой доли субъективизма. На втором уровне изучается вопрос, как изменились знания участников в результате обучения, и изменились ли они вообще. Для оценки используют специально разработанные тесты, которые позволяют количественно измерить прогресс в компетенции или мотивации участников. Оценка результатов изменений в знаниях учащихся позволяет разработчикам обучающих веб-ресурсов объективно оценить их эффективность для того, чтобы

улучшить контент ресурса на основе результатов удаленного тестирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В проведенном исследовании в тестировании приняли участие 260 зарегистрированных пользователей – врачи, преподаватели и студенты медицинских образовательных учреждений. В процессе тестирования результаты фиксируются в базе данных. После каждого тестирования участник имеет возможность вновь пройти тестирование, ознакомившись со списком неправильных ответов и восполнив недостающие знания. Приблизительно одна треть участников сочла достаточным пройти тестовое задание по разделу «Общие вопросы» только один раз, причем независимо от того, к какой группе они относятся, вероятно, из-за того, что были удовлетворены своими более высокими результатами, если сравнить их с результатами тех участников, которые хотели улучшить свои знания и вновь возвращались к тестированию *(таблица 1)*. Подавляющее большинство действительно улучшили результаты тестирования благодаря тому, что, зная свои ошибки, они смогли восполнить недостающие знания и в дальнейшем избежать допущенных ошибок *(таблица 2)*. Для анализа динамики показателя уровня знаний (УЗ) определенных групп (когорт) мы провели лонгитюдное исследование. Для этого выделили 3 группы участников, трижды прошедших тестирование. Количество таких участников по группам приведено в *таблице 1*, столбец: ≥3.

Для того, чтобы проиллюстрировать изменения уровня знаний (УЗ) в динамике на *рис. 3* показаны результаты тестирования по разделу «Общие вопросы». Преподаватели несколько повысили свои показатели, показав более высокие оценки, но студенты улучшили свои результаты более существенно. Начальные значения выборочных средних УЗ врачей и студентов соответственно: 59,19 и 54,34. Уровень значимости t-критерия для равенства средних p = 0,05. По-видимому, использование веб-приложения ВПАР для студентов является более эффективным, чем для врачей и преподавателей.

Одна из задач исследования заключалась в определении того, насколько полезными являются вопросы для контроля знаний пользователей, насколько качественно составлены формулировки вопросов. Важно понять, в чем причина неправильных ответов пользователей: обычные ошибки отдельных обучающихся, или ошибки вызваны трудностями усвоения контента. Для этого была проанализирована динамика процента правильных ответов студентов, трижды прошедших тестирование, на вопросы из раздела «Общие вопросы», формулировки которых приведены в *таблице 3*. В качестве критерия был выбран средний процент правильных ответов. На *рис. 4* представлены данные о том, как в динамике изменяется средний

Таблица 1

Количество участников тестирования

Участники	*Общее количество*	*Количество участников, прошедших тестирование:*			
		однократно	*неоднократно*		
			≥2	*≥3*	*≥4*
врачи	73	27	46	36	24
преподаватели	52	17	35	33	15
студенты	135	53	82	53	22

Таблица 2

Уровень знаний – средний процент правильных ответов

Участники	*УЗ однократно прошедших тестирование*	*Участники, трижды прошедшие тестирование*		
		Количество	*УЗ 1*	*УЗ 3*
врачи	75	36	59	87
преподаватели	77	33	71	94
студенты	69	53	54	86

Сводный отчет по наблюдениям

	users	Наблюдения Допустимо N	Допустимо Проценты	Пропущенные N	Пропущенные Проценты	Всего N	Всего Проценты
тест1	врачи	36	49,3%	37	50,7%	73	100,0%
	преподаватели	33	63,5%	19	36,5%	52	100,0%
	студенты	53	39,3%	82	60,7%	135	100,0%
тест2	врачи	36	49,3%	37	50,7%	73	100,0%
	преподаватели	33	63,5%	19	36,5%	52	100,0%
	студенты	53	39,3%	82	60,7%	135	100,0%
тест3	врачи	36	49,3%	37	50,7%	73	100,0%
	преподаватели	33	63,5%	19	36,5%	52	100,0%
	студенты	53	39,3%	82	60,7%	135	100,0%

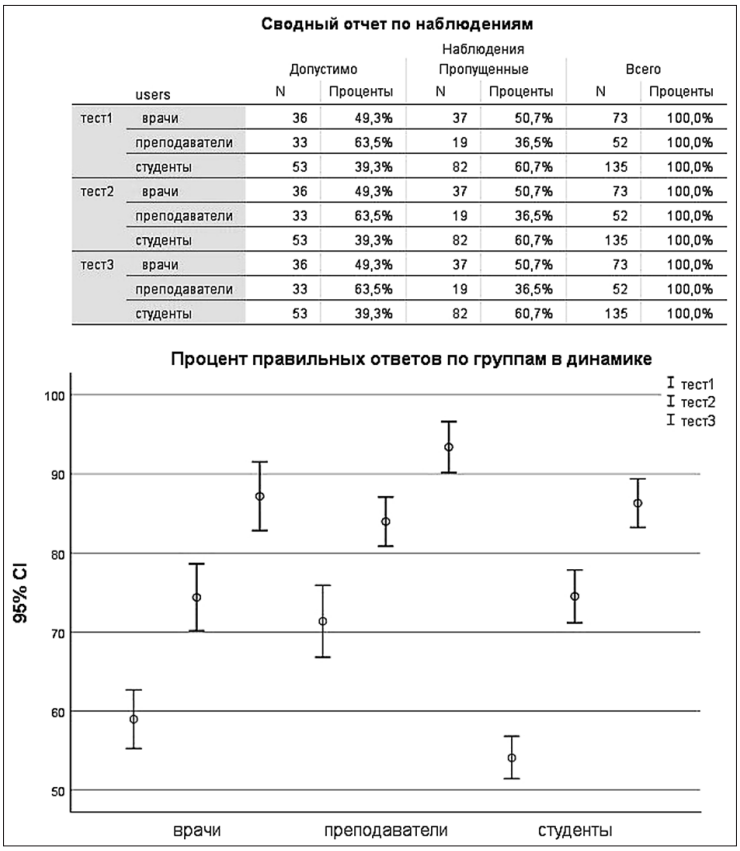


Рис. 3. **Уровень знаний пользователей после повторного тестирования**

процент правильных ответов на каждый вопрос. Два терминологических вопроса (2 и 3) оказались слишком легкими для студентов, поэтому мы предложили заменить их более сложными. По другим вопросам (5, 7, 11 и 12) первоначальные результаты оставляли желать лучшего. Причина могла быть в том, что вопросы слишком сложные. В этом случае имеет смысл их переделать, чтобы формулировки были понятны, не допускали двоякого трактования, а также необходимо было убедиться, что ответ на вопрос действительно присутствует в обучающей части веб-приложения. Однако

Таблица 3

Раздел «Общие вопросы», первый уровень сложности

N	*Формулировка вопроса*
1	Какова частота врожденных пороков развития, выявляемых у детей в течение первого года жизни?
2	Что означает термин «пробанд»?
3	Что означает термин «сибсы»?
4	Что означает термин «кровнородственный брак»?
5	К первой степени родства относятся: ...
6	Делеция, транслокация, инверсия, дупликация хромосом – это: ...
7	Вся генетическая информация организма – это: ...
8	Клинически для хромосомных синдромов характерно: ...
9	Какие синдромы относятся к группе хромосомных болезней?
10	Группа пороков, характеризующихся тотальным или частичным отсутствием или выраженной гипоплазией костей конечностей на любом уровне, это: ...
11	Какие пороки развития относятся к дефектам передней брюшной стенки?
12	Какие пороки развития возникают в результате дефекта нервной трубки?

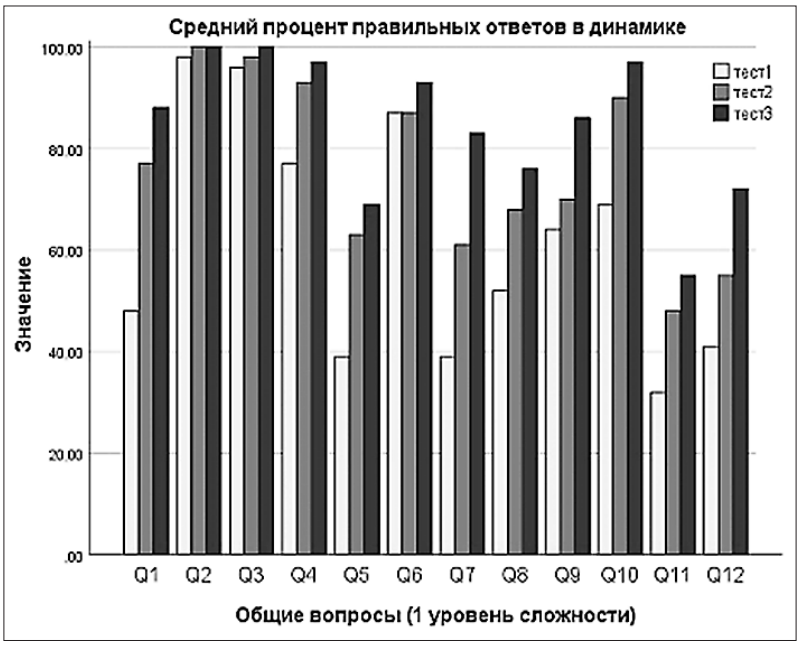


Рис. 4. **Средний процент правильных ответов в динамике**

после повторных тестов процент правильных ответов заметно увеличился. Это говорит о том, что студенты повысили свой уровень знаний, но все же по некоторым вопросам (11 и 12) после 3-го тура процент не превышал 65%. Выяснилось, что по данным вопросам в обучающей части не было достаточной информации, поэтому было принято решение дополнить соответствующие разделы недостающей информацией.

ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанное нами веб-приложение с мультимедийным компонентом является дополнительным средством для самообучения студентов-медиков и повышает мотивацию к дистанционному изучению предмета. Важным моментом является оценка эффективности использования веб-ресурса удаленными пользователями. Исследование включало ряд задач: оценить, насколько полезно веб-приложение для улучшения показателей уровня знаний пользователей различных групп, определить насколько адекватными контенту являются вопросы для контроля знаний, насколько качественно составлены формулировки вопросов. Мы сформировали базу данных с результатами тестирования, в котором приняли участие 260 пользователей – врачи, студенты-медики и преподаватели. Для оценки эффективности веб-приложения мы проанализировали динамику среднего процента правильных ответов на вопросы по одному из разделов предметной области. Результаты проведенного лонгитюдного исследования показали различия в начальном уровне знаний пользователей, при этом в динамике результаты тестов студентов-медиков были улучшены в большей степени по сравнению с результатами врачей. Мы не можем исключить, что студенты могли восполнить знания не только из обучающей части приложения, но также из других источников – Интернета, книг и т.д. На наш взгляд – это не так важно – главное, что пользователи возвращаются к повторному тестированию и стремятся улучшить свои результаты!

Начальное значение среднего процента правильных ответов на вопросы и динамика роста этого показателя после неоднократных попыток являются индикаторами не только улучшения показателей уровня знаний, но также могут быть использованы для оценки качества и полезности конкретного вопроса. Для определения адекватности контрольных вопросов контенту приложения была проанализирована динамика процента правильных ответов студентов, трижды прошедших тестирование. Для разработчиков эта информация, основанная на объективных показателях, является полезной для анализа полноты контента и улучшения образовательного ресурса.

ВЫВОДЫ

Разработанное веб-приложение является уникальным отечественным мультимедийным пособием по врожденным порокам и аномалиям развития, активно используется врачами, студентами и преподавателями медицинских образовательных учреждений для повышения квалификации и самообучения.

Проведенное лонгитюдное исследование количественных показателей проверки знаний позволяет оценить начальный уровень знаний разных групп пользователей и динамику улучшения этих показателей. Использование веб-приложения для студентов является более эффективным, чем для врачей и преподавателей, поскольку студенты улучшили свои результаты более существенно.

Проведенное исследование динамики процента правильных ответов студентов на тестовые задания позволило оценить степень адекватности контрольных вопросов контенту приложения и улучшить качества веб-ресурса.

Авторы благодарят Тимофея Алексеева, Кирилла Гусева и Андрея Акименкова, которые помогали в разработке веб-приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кобринский Б.А.* Компьютеризированные и дистанционные обучающие системы (на примере медицинской диагностики). // Открытое образование. – 2018. – Т. 22. – № 2. – С. 45–53.
2. *Khasawneh R., Simonsen K., Higgins J., Beck G.* (2016) The effectiveness of e-learning in pediatric medical student education, Medical Education Online, 21:1, 29516, DOI: 10.3402/meo.v21.29516.
3. *Ruiz, Jorge G.; Mintzer, Michael J.; Leipzig, Rosanne M.* The impact of e-learning in medical education. Academic Medicine. 81(3):207–212, March 2006.
4. *Ito J., Tabei Y., Shimizu K. at al.* PoSSuM: a database of similar protein-ligand binding and putative pockets. Nucleic Acids Research. 2012; 40(D1): D541-D548.
5. *Guest S.S., Evans C.D., Winter R.M.* The online London dysmorphology database. Genetics in Medicine Volume. 1999: 1(5): 207–212.
6. *Ayme S., Caraboeuf M., Gouvernet J.* GENDIAG – a computer-assisted syndrome identification system. Clinical Genetics. 1985: 28(5): 410–411.
7. Centers for Disease Control and Prevention. Specific Birth Defects. CDC. https://www.cdc.gov/ncbddd/birthdefects/types.html. Accessed August, 14. 2020.
8. *Путинцев А.Н., Алексеев Т.В., Акименков А.М., Демикова Н.С., Лапина А.С.* Интернет-приложение «Врожденные пороки развития» для повышения уровня знаний врачей и обучения студентов. // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2017. – Т. 62. – № 3. – С. 130–136.
9. *Boulmetis J., Dutwin P.* The ABCs of Evaluation: Timeless Techniques for Program and Project Managers. 3rd ed., US. John Wiley & Sons, 2014.
10. *Lyke J., Frank M.* Comparison of student learning outcomes in online and traditional classroom environment psychology course. J Instruct Psychol. 2013: 39: 245–250.
11. *Lahti M, Hätönen H., Välimäki M.* Impact of e-learning on nurses' and student nurses knowledge, skills, and satisfaction: a systematic review and meta-analysis. Int J Nurs Stud. 2014; 51(1): 136–49.
12. *Воронина М.Ф., Карпова Е.А.* Модели оценки эффективности обучения в контексте компетентностного подхода. // Социология и право. – 2016. – № 1(31). – С. 27–37.
13. *Praslova L.* Adaptation Kirkpatrick's four level model of training criteria to assessment of learning outcomes and program evaluation in Higher Education.Educational assessment evaluation and accountability. 2010: 22(3): 215–225.

С.П. МОРОЗОВ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: morozov@npcmr.ru (ORCID: 0000-0001-6545-6170)
А.В. ВЛАДЗИМИРСКИЙ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru (ORCID: 0000-0001-6545-6170)
Н.В. ЛЕДИХОВА,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: n.ledikhova@npcmr.ru
А.Е. АНДРЕЙЧЕНКО,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: a.andreychenko@npcmr.ru (ORCID: 0000-0001-6359-0763)
К.М. АРЗАМАСОВ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru (ORCID: 0000-0001-7786-0349)
Э.А. БАЛАНЮК,
ГБУЗ г. Москвы «Городская клиническая больница № 40 Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gkb40@zdrav.mos.ru
В.А. ГОМБОЛЕВСКИЙ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: gombolevskiy@npcmr.ru (ORCID: 0000-0003-1816-1315)
С.О. ЕРМОЛАЕВ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: s.ermolaev@npcmr.ru
В.С. ЖИВОДЕНКО,
ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 218 Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gp218@zdrav.mos.ru
И.М. ИДРИСОВ,
ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 12 Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gp12@zdrav.mos.ru
Ю.С. КИРПИЧЕВ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: y.kirpichev@npcmr.ru (ORCID: 0000-0002-9583-5187)
Т.А. ЛОГУНОВА,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: t.logunova@npcmr.ru
В.А. НУЖДИНА,
ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 115 Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gp115@zdrav.mos.ru
О.В. ОМЕЛЯНСКАЯ,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru
В.Г. РАКОВЧЕН,
ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 8 Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gp8@zdrav.mos.ru
А.В. СЛЕПУШКИНА,
ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 3 Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gp1@zdrav.mos.ru

МОСКОВСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ: ВОВЛЕЧЕННОСТЬ ВРАЧЕЙ-РЕНТГЕНОЛОГОВ

УДК: 61:621.397.13/.398 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-14-23*

Морозов С.П.[1], Владзимирский А.В.[1], Ледихова Н.В.[1], Андрейченко А.Е.[1], Арзамасов К.М.[1], Баланюк Э.А.[2], Гомболевский В.А.[1], Ермолаев С.О.[1], Живоденко В.С.[3], Идрисов И.М.[4], Кирпичев Ю.С.[1], Логунова Т.А.[1], Нуждина В.А.[5], Омелянская О.В.[1], Раковчен В.Г.[6], Слепушкина А.В.[7] ***Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике:***

© С.П. Морозов, А.В. Владзимирский, Н.В. Ледихова, А.Е. Андрейченко, К.М. Арзамасов, Э.А. Баланюк, В.А. Гомболевский, С.О. Ермолаев, В.С. Живоденко, И.М. Идрисов, Ю.С. Кирпичев, Т.А. Логунова, В.А. Нуждина, О.В. Омелянская, В.Г. Раковчен, А.В. Слепушкина, 2020 г.

вовлеченность врачей-рентгенологов *([1]ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы»; [2]ГБУЗ г. Москвы «Городская клиническая больница № 40 Департамента здравоохранения города Москвы»; [3]ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 218 Департамента здравоохранения города Москвы»; [4]ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 12 Департамента здравоохранения города Москвы»; [5]ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 115 Департамента здравоохранения города Москвы»; [6]ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 8 Департамента здравоохранения города Москвы»; [7]ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 3 Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия)*

Аннотация. *Актуальность.* В 2019 г. Правительство Москвы приняло решение о проведении масштабного научного исследования – Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения столицы (www.mosmed.ai).
Цель исследования – систематизировать первые результаты Эксперимента с позиции вовлеченности врачей-рентгенологов.
Материал и методы. Эксперимент представляет собой проспективное научное исследование, получившее одобрение Независимого этического комитета и зарегистрированное в Clinicaltrails.gov (ID NCT04489992). Пациенты подписывали информированное добровольное согласие. На момент подготовки статьи (01.10.2020) в Эксперименте принимают участие 10 сервисов, обеспечивающих автоматизированный анализ результатов лучевых исследований: компьютерная томография и рентгенография органов грудной клетки, маммография. В исследование включены количественные показатели Эксперимента с 18.06.2020 по 01.10.2020. Использованы методы социального опроса, описательной статистики, оценки метрик диагностической точности.
Результаты и обсуждение. В течение первых четырех месяцев активной фазы Эксперимента, по состоянию на 01.10.2020, в ЕРИС ЕМИАС интегрированы 10 сервисов компьютерного зрения, которые успешно проанализировали 497155 результатов лучевых исследований. На анализ направляются исследования, выполненные на 884 диагностических устройствах в 293 медицинских организациях; из этих учреждений активно участвуют в Эксперименте 272. Вовлеченность медицинских организаций составляет 82%. Медианное время автоматического анализа 1 исследования составило 8 минут; в целом быстрее 15 минут было проанализировано 63% исследований. В начале Эксперимента результаты работы сервисов были доступны на рабочих местах в ЕРИС ЕМИАС 538 врачей-рентгенологов. В течение 4 месяцев Эксперимента количество подключенных врачей неуклонно возрастало и составило 899 к 01.10.2020. Вовлеченность врачей составила 24%, что несколько превышает общемировые показатели. По результатам социологического опроса отношение к технологиям ИИ московских врачей-рентгенологов можно охарактеризовать как выжидательное, умеренно-оптимистичное. Врачи-рентгенологи определили полное соответствие результатов работы сервисов компьютерного зрения реальной рентгенологической картине в 64% случаев. В 36% зафиксированы несоответствия; из этого числа значимые расхождения имели место в 6%, незначимые – в 23%.
Выводы. Результаты первых четырех месяцев активной фазы Московского Эксперимента по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике можно считать успешными. Фиксируется достаточно высокий уровень вовлеченности врачей-рентгенологов. На дальнейших этапах Эксперимента будут реализованы мероприятия по повышению вовлеченности врачей-рентгенологов, а также комплексная сравнительная оценка работы сервисов.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, компьютерное зрение, лучевая диагностика, компьютерная томография, маммография, рентгенография, грудная клетка, злокачественные новообразования.*

UDC: 61:621.397.13/.398

Morozov S.P.[1], Vladzymyrskyy A.V.[1], Ledikhova N.V.[1], Andrejchenko A.E.[1], Arzamasov K.M.[1], Balanjuk E.A.[2], Gombolevskij V.A.[1], Ermolaev S.O.[1], Zhivodenko V.S.[3], Idrisov I.M.[4], Kirpichev Ju.S.[1], Logunova T.A.[1], Nuzhdina V.A.[5], Omeljanskaja O.V.[1], Rakovchen V.G.[6], Slepushkina A.V.[7] ***Moscow experiment on computer vision in radiology: involvement and participation of radiologists*** *([1]Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow; [2]Municipal Clinical Hospital № 40, Department of Health Care of Moscow; [3]Municipal Polyclinic № 218, Department of Health Care of Moscow; [4]Municipal Polyclinic № 12, Department of Health Care of Moscow; [5]Municipal Polyclinic № 115, Department of Health Care of Moscow; [6]Municipal Polyclinic № 8, Department of Health Care of Moscow; [7]Municipal Polyclinic № 3, Department of Health Care of Moscow, Moscow, Russia)*

Abstract. *Background.* In 2019, the Moscow Government decided to conduct a large-scale scientific research – an the Experiment on the use of innovative computer vision technologies for medical image analysis and subsequent applicability in the healthcare system of Moscow (www.mosmed.ai).
Objective – analyze engagement, attitudes and feedback from doctors-radiologists in frame of the Experiment.
Materials and methods. The Experiment is a prospective research approved by the Independent Ethics Committee and registered with Clinicaltrails.gov (ID NCT04489992). Patients signed informed voluntary consent. On the date 01.10.2020, ten services are involved in the Experiment, they providing automated analysis of chest computed tomography and x-ray, mammography. The study includes quantitative indicators of the Experiment from 06/18/2020 to 10/01/2020. Methods of social survey, descriptive statistics, assessment of diagnostic accuracy metrics were used.
Results and discussion. During the first four months of the active phase of the Experiment, ten computer vision services were integrate into Unified Radiology Service of Moscow. More then 497 thousand studies have been successfully analyzed. Analyzes is carried out for 884 diagnostic devices in 293 medical organizations, 272 of them are actively involved. The involvement of medical organizations is 82%. The median time for automatic analysis of 1 study is 8 minutes. Overall, 63% of studies were analyzed in less than 15 minutes. At the beginning of the Experiment, 538 doctors had access to the system; in four months this number increased to 899. The involvement of doctors was 24%, which is slightly higher than the global indicators. According to the results of a sociological survey, the attitude to AI technologies of Moscow radiologists can be characterize as expectant, moderately optimistic. Radiologists have determined that the results of computer vision services are fully consistent with the real situation in 64% of cases. In 36% cases some inconsistencies were recorded; of this number, significant discrepancies took place in 6%, insignificant – in 23%.
Conclusion. Results of the Experiment's first four months can be consider as successful. A high level of involvement of radiologists is define. Special measures will be implement to increase the involvement of radiologists, as well as a comprehensive comparative assessment of the work of services at the further stages of the Experiment.

Keywords: *artificial intelligence, computer vision, radiology, computed tomography, mammography, radiography, chest, malignant tumor.*

Лучевая диагностика – высокотехнологичная сфера современного здравоохранения. Это обусловлено планомерным вытеснением аналоговой аппаратуры цифровой, развитием функциональности автоматизированных рабочих мест, созданием централизованных архивов медицинских изображений, широкой интеграцией медицинских и радиологических информационных систем, использованием телемедицинских технологий. Информатизация и цифровизация лучевой диагностики позволяют постоянно наращивать объемы проводимых исследований, более рационально и эффективно использовать ресурсы системы здравоохранения. Вместе с тем, остаются актуальными проблемы контроля качества, анализа и описаний результатов массовых профилактических осмотров, доступности лучевых методов диагностики [1, 2, 8, 13]. Дальнейшее развитие цифровизации лучевой диагностики связывают с технологиями искусственного интеллекта (ИИ), которые потенциально могут существенным образом повлиять на качество и безопасность исследований, а также – на производительность труда [8, 18, 23, 24, 26, 27, 30].

В Российской Федерации принята Стратегия развития искусственного интеллекта, в которой содержатся положения и о сфере здравоохранения. Применение автоматизированных систем поддержки принятия врачебных решений рекомендуется Правилами проведения рентгенологических исследований [11, 14]. Ожидания профессиональной аудитории связаны с появлением решений для анализа диагностических изображений молочной железы [12], поиска признаков онкологических заболеваний на изображениях органов грудной клетки, молекулярной визуализации, анализа нейровизуализации. С позиции клинических сценариев ожидается наибольший вклад ИИ в совершенствование скринингов, стадирования новообразований, количественного измерения биомаркеров, пост-процессинга, генерации шаблонов описаний, поддержку в принятии решений при наличии симптомов [17].

Потенциально наибольший вклад ИИ может внести в экономию ресурсов, в том числе – рабочего времени и внимания врача-рентгенолога. Соответственно, первой по важности задачей, с точки зрения оптимального использования ресурсов, становятся профилактические исследования (внимание врача истощается в условиях просмотра большого количества исследований без патологических изменений); второй – экстренные исследования (быстрый поиск находок, представляющих непосредственную угрозу для жизни пациента); третьей – исследования при инфекционных заболеваниях (такие состояния представляют не только персональную, но и социально-значимую угрозу).

Невзирая на колоссальный интерес, взрывной рост разработок и публикаций, реальные возможности ИИ в практическом здравоохранении по-прежнему остаются открытым вопросом. Подавляющее число соответствующих научных исследований носит технологический или математический характер и не соответствует требованиям доказательной медицины. Результаты клинических испытаний ИИ публикуются крайне редко и, в основном, представляют собой ограниченные исследования [20, 21].

Применимость и востребованность ИИ в реальной практике, влияние на труд врача и медицинской организации, качество автоматизированного анализа в условиях потока исследований, стандартизация и интегрируемость в действующие медицинские информационные системы – все это актуальные научные вопросы, от решения которых мировое научное сообщество еще достаточно далеко.

В 2019 г. Правительство Москвы приняло решение о проведении масштабного научного исследования – Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения столицы (www.mosmed.ai) [10].

Возможность проведения Эксперимента обусловлена:

1. Технологической готовностью – наличием Единого радиологического информационного сервиса в составе Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС), который представляет собой общий цифровой контур лучевой диагностики столицы [9].

2. Методологической готовностью – наличием валидированной методики клинических испытаний технологий ИИ для лучевой диагностики, накопленным опытом научных исследований, разработанной классификацией и методологическими подходами к подготовке эталонных наборов данных [3, 4, 5, 6, 7, 22].

Координационные, научные, методологические и образовательные задачи Эксперимента выполняются коллективом ГБУЗ г. Москвы

«Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы». В рамках Эксперимента осуществляется отбор по установленным критериям, и интеграция сервисов на основе ИИ и компьютерного зрения в ЕРИС ЕМИАС. Под «сервисом» подразумевается информационная система (программное обеспечение) на основе технологий искусственного интеллекта для автоматизированного анализа результатов лучевых исследований. Предусмотрены процедуры последовательной интеграции сервисов в тестовый и промышленный контур ЕРИС ЕМИАС, калибровочного тестирования и технологического мониторинга.

Технологические задачи в Эксперименте решаются при активном участии и поддержке Департамента информационных технологий города Москвы.

Цель исследования – систематизировать первые результаты Эксперимента с позиции вовлеченности врачей-рентгенологов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперимент представляет собой проспективное научное исследование, получившее одобрение Независимого этического комитета и зарегистрированное в Clinicaltrail.gov (ID NCT04489992). Пациенты подписывали информированное добровольное согласие.

На момент подготовки статьи (01.10.2020) в Эксперименте принимают участие 10 сервисов, обеспечивающих автоматизированный анализ результатов лучевых исследований *(таблица 1).*

Общий сценарий работы в Эксперименте выглядит следующим образом. Лучевые исследования выполняются в городских поликлиниках и городских клинических больницах Департамента здравоохранения города Москвы; результаты поступают в ЕРИС ЕМИАС и автоматически маршрутизируются на сервисы. В случае если исследование подходит для анализа ИИ-сервисом, результаты автоматизированного анализа направляются в ЕРИС ЕМИАС и становятся доступными на рабочих местах врачей-рентгенологов в виде дополнительной серии, содержащей маркировку находок на нативных изображениях исследования, текстовую информацию, при этом исследования с выявленными патологиями автоматически приоритезируются в рабочих списках врачей.

Таким образом, в ходе работы в ЕРИС ЕМИАС ИИ-сервисам предлагалось решать последовательно несколько задач для врача-рентгенолога:

- предоставлять информацию о повышении приоритета исследования в рабочем списке в случае выявления патологической находки на изображениях исследования;
- локализовать патологические находки на изображениях исследования в виде маркировок на дополнительной серии изображений, эквивалентных оригинальным изображениям исследования;
- классифицировать выявленные находки с указанием вероятности патологии;
- автоматически формировать отчет о результате работы ИИ-сервиса с предлагаемым шаблоном описания исследования.

Отметим, что сервисы предлагают именно вероятность наличий той или иной патологии, а не

Таблица 1

Виды исследований и сервисы, участвующие в Московском Эксперименте по состоянию на 01.10.2020

Вид исследований	*Сервисы*
Компьютерная томография органов грудной клетки (выявление злокачественных новообразований)	Botkin. AI/ООО «Интеллоджик»
Компьютерная томография и низкодозовая компьютерная томография органов грудной клетки (выявление признаков COVID-19)	«MultiVox COVID19»/ООО «Гаммамед-Софт»; Radlogics/ ООО «МИП «Биномикс-Рэй»; COVID-IRA/ ООО «Интеллиджент Радиолоджи Ассистанс Лабораторис» («АЙРА ЛАБС»); Philips Research Lung Cancer Screening AI/ ООО «Филипс Инновационные Лаборатории РУС»
Рентгенография / флюорография органов грудной клетки (выявление патологий легких)	CarementorAI/ООО «Кэременторэйай»; FBM/ООО «ФтизисБиоМед»; ООО «Платформа Третье Мнение»; Цельс/ООО «Медицинские скрининг системы»
Маммография (выявление злокачественных новообразований)	Цельс/ООО «Медицинские скрининг системы»

однозначный ответ. Соответственно, финальное решение при интерпретации и описании результатов лучевого исследования всегда принимает врач-рентгенолог.

На рабочем месте врача-рентгенолога в ЕРИС ЕМИАС предусмотрена форма обратной связи в виде анкеты *(таблица 2)*.

Использование результатов работы сервисов возможно только в научных целях, и предоставление обратной связи в рамках Эксперимента является исключительно добровольным. В данный момент всю ответственность за принимаемые решения и вносимые в медицинскую документацию данные несет врач.

Для повышения вовлеченности врачам-рентгенологам были предоставлены специально разработанные учебно-методические материалы (в том числе, в виде видеоуроков), проведены образовательные мероприятия в формате вебинаров, организована оперативная поддержка (чаты в Интернет-мессенджерах).

В исследование включены количественные показатели Эксперимента с 18.06.2020 по 01.10.2020, в том числе: количество и вовлеченность медицинских организаций и врачей-рентгенологов, количество и виды исследований, результаты обратной связи врачей-рентгенологов как критерий качества сервисов. По результатам обучения проведено анкетирование.

Мониторинг и визуализация данных проводилась с использованием специально разработанного дашборда (dash.mosmed.ai), подключенного к ЕРИС ЕМИАС.

Использованы методы социального опроса, описательной статистики, оценки метрик диагностической точности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках Московского Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений за 4 месяца в ЕРИС ЕМИАС успешно интегрировались и прошли процедуру калибровочного тестирования 10 сервисов.

Результаты работы сервисов отображаются на автоматизированных рабочих местах врачей-рентгенологов в виде дополнительных серий.

По состоянию на 01.10.2020 на обработку сервисами направляются результаты исследований, выполненных на 884 диагностических устройствах, подключенных к ЕРИС ЕМИАС. Тем самым обеспечено участие в Эксперименте 293 медицинских организаций Департамента здравоохранения города Москвы, из них активно принимают участие 272. Вовлеченность медицинских организаций составляет 82%.

За весь период на обработку сервисами направлено 575109 исследований, из них успешно проанализированы 86% (497155).

С учетом вида исследований проанализировано: компьютерных томографий органов грудной клетки для выявления злокачественных новообразований (КТ ОГК ЗНО), в том числе низкодозовых – 40599, компьютерных томографий органов грудной клетки для выявления признаков COVID-19 (КТ ОГК COVID-19) – 147846, маммографий (ММГ) – 34428, рентгенографий органов грудной клетки (РГ ОГК) – 99335, флюорографий (ФГ ОГК) – 174947 *(рис. 1, 2)*.

Медианное время обработки составило 8 минут; в целом быстрее 15 минут было проанализировано 63% исследований.

В начале Эксперимента результаты работы сервисов в виде приоритизации в рабочем списке

Таблица 2

Форма обратной связи от врачей-рентгенологов в Московском Эксперименте

№	Категория	Варианты
1	Полное соответствие	Согласен
		Не согласен
		Если не согласен, то 2 или 3
2	Значимое расхождение	Дефект
		Грубая ошибка
3	Незначимое расхождение	Неверный диагноз
		Неверная локализация
		Неверная классификация
		Прочее

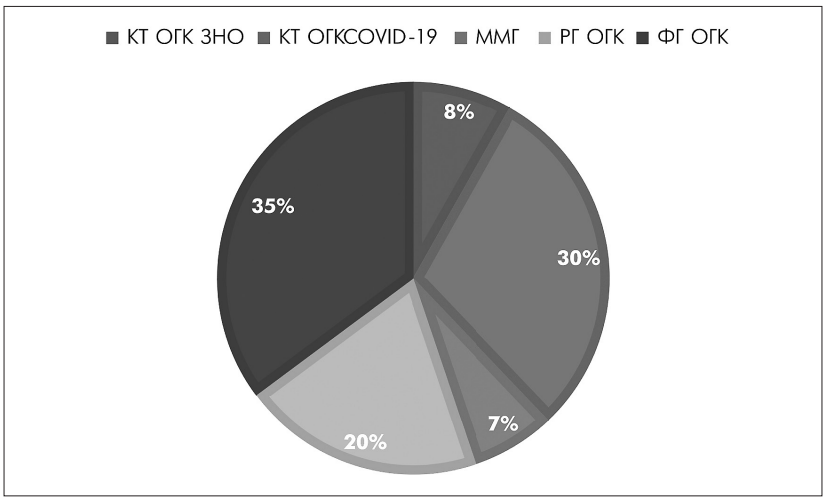


Рис. 1. **Удельный вес исследований различных видов, проанализированных сервисами компьютерного зрения**

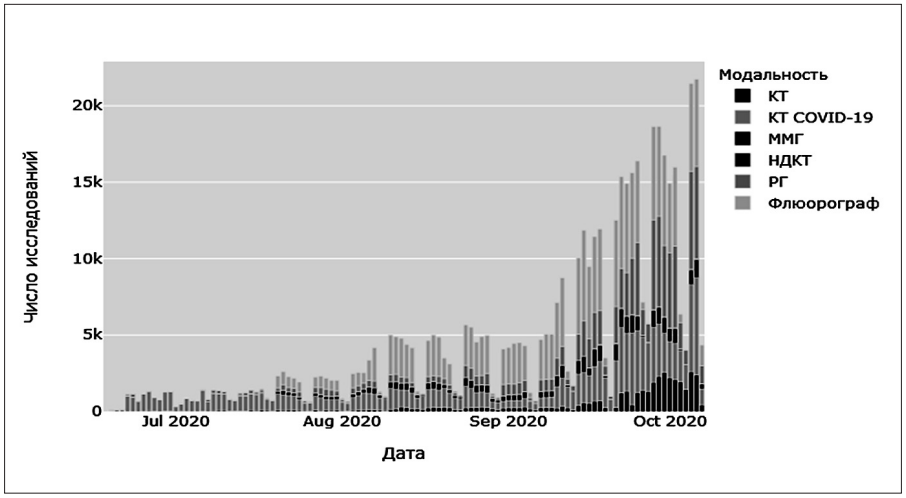


Рис. 2. **Динамика обработки исследований различных видов сервисами компьютерного зрения**

и дополнительной серии изображений были доступны на рабочих местах в ЕРИС ЕМИАС 538 врачей-рентгенологов.

Примерное возрастное распределение составило 20–30 лет – 17,0%; 30–40 лет – 30,0%; 40–50 лет – 26,0%; старше 50 лет – 26,0%. Со стажем менее 5 лет или 10–20 лет было 25,0% врачей; стаж 5–10 лет имели 23,0% специалистов; более 20–27,0%. Таким образом, в целом распределение по возрасту и стажу работу носило равномерный характер.

Обязательным этапом Эксперимента было обучение и информирование врачей-рентгенологов по общим вопросам применения технологий искусственного интеллекта и по использованию конкретных сервисов. Для обучения использованы различные педагогические и информационные технологии. Проведен основной этап обучения (лекции, семинары, вебинары), далее организовано постоянное информирование через специальные каналы в социальных сетях и Интернет-мессенджерах.

По завершению основного этапа проведено анкетирование. Отправлено 545 анкет, получено 333 ответов (61,1%).

Полноту и доступность учебно-методических материалов хорошо оценили 76,0% опрошенных, удовлетворительно – 20,0%, плохо – 4,0%.

Примерно аналогичной была оценка практической значимости обучения: 70,0%, 24,0% и 6,0% соответственно.

Интересны ответы врачей, касающиеся ожиданий от применения технологий искусственного интеллекта.

На все ключевые вопросы мнения почти всегда разделялись на примерно равные доли.

На вопрос «Поможет ли ИИ сократить количество пропущенных клинически значимых патологий?» 46,0% московских врачей ответили положительно, 36,0% – нейтрально, 18,0% – отрицательно. «Позволит ли ИИ больше сосредоточиться на проблемных областях изображений?»: 43,0%, 38,0%, 19,0% соответственно.

«Решит ли ИИ проблему увеличивающейся рабочей нагрузки?»: 35,0% положительных ответов, 38,0% нейтральных, 26,0% отрицательных. На вопрос «Ожидаете ли Вы, что ИИ сервис сократит время на написание заключений?» утвердительно («сократит») ответили 33,0% респондентов, «ничего не изменится» – 35,0%, «увеличит» – 32,0%. Примечательно, что по данным масштабного международного опроса врачей лучевой диагностики наблюдается немного иная картина: 50,8% опрошенных ожидают снижение длительности, а 49,2% – наоборот увеличение длительности описаний [17]. То есть ожидания московских врачей более нейтральны, выжидательны. В то время, как ожидания почти половины международной аудитории менее оптимистичны.

Интересны опасения, которые возникают у профессиональной аудитории в связи с внедрением технологий ИИ. Применение искусственного интеллекта может увеличить количество ложно-положительных находок – так считают 32,0% врачей; увеличится время работы врача – 23,0%, есть риск пропуска значимой патологии – 19,0%, будут трудности по использованию ИИ в рутинной работе – 13,0%. Все же 13,0% врачей считают, что профессия рентгенолога находится под угрозой в будущем.

Полученные ответы можно интерпретировать как недостаточную информированность врачей о реальных возможностях и ограничениях ИИ, а также недостаток собственного практического опыта. Впрочем, это полностью объяснимо – технологии искусственного интеллекта в медицине находятся в самом начале пути своего развития. На международном уровне наблюдается такая же картина: 68,6% врачей хотели бы пройти дополнительное углубленное обучение по вопросам возможностей и ограничений ИИ, а 58,1% – по практическим аспектам его применения. Примечательно, что 11,1% опрошенных хотели бы узнать «как выжить во время ИИ-революции», лишь 0,9% международной аудитории хотели бы полностью избежать применения ИИ [17].

В целом, отношение к технологиям ИИ московских врачей-рентгенологов можно охарактеризовать как выжидательное, умеренно-оптимистичное. Явно требуется доказательный подход к внедрению технологий искусственного интеллекта, систематизация накапливаемого практического опыта с активными научными публикациями.

В течение 4 месяцев Эксперимента количество подключенных врачей неуклонно возрастало и составило 899 к 01.10.2020. При оценке в динамике *(рис. 3)* отмечается положительная тенденция:

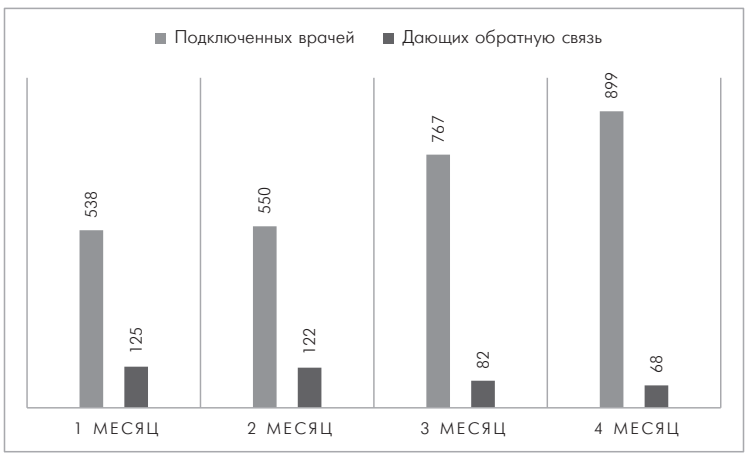


Рис. 3. **Динамика добровольного участия врачей-рентгенологов в Московском Эксперименте по компьютерному зрению (предоставление обратной связи)**

рост числа врачей-рентгенологов, использующих, в той или иной мере, при интерпретации и описании результатов исследований результаты работы сервисов компьютерного зрения.

Приведенные цифры демонстрируют количественный рост используемости технологий компьютерного зрения врачами-рентгенологами в Московском Эксперименте.

За весь период наблюдения обратную связь по качеству работы сервисов предоставляли 254 врача, что составило 23%. Однако, здесь наблюдается отрицательная динамика: в первый месяц обратную связь предоставляли 29% специалистов, а к четвертому этот показатель снизился до 7,5%. Вместе с тем, сформировалось «ядро» из специалистов с высокой вовлеченностью, постоянно сотрудничающих по вопросам обратной связи в Эксперименте. Наблюдается вполне классическая пропорция: 21,4% врачей обеспечивают 80,9% ответов по обратной связи.

Подобная динамика в целом характерна для этапа внедрения новых информационных технологий, особенно с учетом добровольности предоставления обратной связи [16]. Безусловно, требуется отдельное углубленное изучение применения технологий искусственного интеллекта врачами-рентгенологами.

В целом, вовлеченность в 24% не только соответствует опубликованным ранее данным, но и немного превышает их. Так, по итогам международного опроса 675 членов Европейского общества радиологов из 39 стран установлено, что технологиями искусственного интеллекта в своей практической работе пользуется 20% врачей [17]. Региональные опросы демонстрируют меньшие значения. Например, в Саудовской Аравии определен уровень используемости ИИ врачами лучевой диагностики в 18% [25].

Результаты оценки качества работы сервисов компьютерного зрения врачами-рентгенологами представлены в *таблице 3.*

Врачи-рентгенологи определили полное соответствие результатов работы сервисов компьютерного зрения реальной рентгенологической картине в 64% случаев. В 36% зафиксированы несоответствия; из этого числа значимые расхождения имели место в 6%, незначимые – в 23%.

В соответствии с ответами специалистов результаты работы сервисов компьютерного зрения можно охарактеризовать так: истинно-положительные – 2388, истинно-отрицательные – 2838, ложно-положительные – 2113, ложно-отрицательные – 810.

В целом, чувствительность составила 74,67% (95% ДИ 73,13–76,17), специфичность – 57,32% (95% ДИ 55,93–58,70), общая точность – 64,13% (95% ДИ 63,08–65,17).

В исследованиях, посвященных мультицентровой проспективной валидации технологий искусственного интеллекта, приводятся достигаемые уровни диагностической ценности [15, 19, 28, 29]:

- для выявления COVID-19 по КТ ОГК: общая точность – 70–87,5%, чувствительность – 73,0–96,9%, специфичность – 55,0–88,0%;

Таблица 3

Результаты обратной связи от врачей-рентгенологов в Московском Эксперименте по компьютерному зрению

Категория	*Удельный вес исследований,%*
Полное соответствие (согласен)	64
Не согласен	36
Значимое расхождение	6
Дефект	2
Грубая ошибка	4
Незначимое расхождение	23
Неверный диагноз	14
Неверная локализация	4
Неверная классификация	6
Прочее	3

Примечание: данные удельного веса не суммируются, так как врач-рентгенолог одновременно может указать несколько вариантов в форме обратной связи (например, «неверный диагноз» и «неверная локализация»)

- для выявления ЗНО молочной железы при ММГ: чувствительность – 89,95–100,0%, специфичность – 69,04–92,41%;

- для выявления ЗНО по КТ ОГК: чувствительность – 98,62–100,0%, специфичность – 25,51–30,62%.

Результаты оценки точности сервисов компьютерного зрения, полученные по итогам обратной связи от врачей, в целом соответствуют опубликованным метрикам. Однако, явным ограничением здесь является суммарная оценка всех сервисов Эксперимента, в то время, как в литературе приводятся данные для отдельных видов исследований.

Вместе с тем, надо отметить малое количество проспективных мультицентровых испытаний качества и точности технологий искусственного интеллекта для лучевой диагностики. Исследований, сопоставимых по масштабу вовлеченных врачей, медицинских организаций, сервисов, по виду и числу проанализированных обследований, с Московским Экспериментом в глобальной перспективе нет.

Таким образом, результаты первых четырех месяцев активной фазы Московского Эксперимента по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике можно считать успешными. В ЕРИС ЕМИАС интегрированы 10 сервисов, осуществляющих анализ результатов КТ, рентгенографии, флюорографии органов грудной клетки и маммографии с применением технологий искусственного интеллекта.

Отмечается рост используемости результатов работы сервисов врачами-рентгенологами, уровень вовлеченности стабилизировался. С позиции практикующего врача диагностическая точность сервисов компьютерного зрения является средней.

Перспективы дальнейших исследований состоят в изучении диагностической точности сервисов отдельно, по видам исследований по результатам независимой оценки врачами-экспертами (это позволит провести сравнение с оценками практикующих врачей). Требуется разработка и реализация мероприятий по повышению вовлеченности врачей.

ВЫВОДЫ

В течение первых четырех месяцев активной фазы Эксперимента, по состоянию на 01.10.2020, в ЕРИС ЕМИАС интегрированы 10 сервисов компьютерного зрения, которые успешно проанализировали 497155 результатов лучевых исследований.

Медианное время обработки составило 8 минут; в целом быстрее 15 минут было проанализировано 63% исследований.

На обработку сервисами направляются результаты исследований, выполненных на 884 диагностических устройствах в 293 медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы; из них активно участвуют в Эксперименте 272. Вовлеченность медицинских организаций составляет 82%.

Вовлеченность врачей составила 24%, что несколько превышает общемировые показатели. По результатам социологического опроса отношение к технологиям ИИ московских врачей-рентгенологов можно охарактеризовать как выжидательное, умеренно-оптимистичное.

Врачи-рентгенологи определили полное соответствие результатов работы сервисов компьютерного зрения реальной рентгенологической картине в 64% случаев. В 36% зафиксированы несоответствия; из этого числа значимые расхождения имели место в 6%, незначимые – в 23%.

На дальнейших этапах Эксперимента будут реализованы мероприятия по повышению вовлеченности врачей-рентгенологов, а также комплексная сравнительная оценка работы сервисов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусев А.В., Плисс М.А., Левин М.Б., Новицкий Р.Э.* Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России. // Врач и информационные технологии. – 2019. – № 2. – С. 38–49.
2. *Гусев А.В., Зарубина Т.В.* Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации. // Врач и информационные технологии. 2017. – № 2. – С. 60–72.
3. *Морозов С.П., Владзимирский А.В., Гомболевский В.А., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В.* Искусственный интеллект: автоматизированный анализ текста на естественном языке для аудита радиологических исследований. // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2018. – Т. 99. – № 5. – С. 253–258.
4. *Морозов С.П., Владзимирский А.В., Ледихова Н.В., Соколина И.А., Кульберг Н.С., Гомболевский В.А.* Оценка диагностической точности системы скрининга туберкулеза легких на основе искусственного интеллекта. // Туберкулез и болезни легких. 2018. – Т. 95. – № 8 – С. 42–49.
5. *Морозов С.П., Владзимирский А.В., Гомболевский В.А., Кляшторный В.Г., Федулова И.А., Власенков Л.А.* Искусственный интеллект в скрининге рака легкого: оценка диагностической точности алгоритма для анализа низкодозовых компьютерных томографий. // Туберкулез и болезни легких – 2020. – Т. 98. – № 8. – С. 24–31.

6. *Морозов С.П., Владзимирский А.В., Кляшторный В.Г. с соавт.* Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика) / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 57. М., 2019. – 51 с.

7. *Морозов С.П., Владзимирский А.В., Черняева Г.Н., Бажин А.В., Пимкин А.А., Беляев М.Г., Кляшторный В.Г., Горшкова Т.Н., Курочкина Н.С., Якушева С.Ф.* Валидация диагностической точности алгоритма «искусственного интеллекта» для выявления рассеянного склероза в условиях городской поликлиники. // Лучевая диагностика и терапия. – 2020. – № 2 (11). – С. 58–65.

8. *Морозов С.П.* Решения на базе искусственного интеллекта – новый стандарт безопасности в лучевой диагностике. // Московская медицина. – 2020. – № 2 (36). – С. 24–26.

9. *Полищук Н.С., Ветшева Н.Н., Косарин С.П., Морозов С.П., Кузьмина Е.С.* Единый радиологический информационный сервис как инструмент организационно-методической работы научно-практического центра медицинской радиологии департамента здравоохранения г. Москвы (аналитическая справка). // Радиология – практика. – 2018. – № 1 (67). . – С. 6–17.

10. Постановление Правительства Москвы от 29 ноября 2019 № 1543-ПП «О проведении эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы».

11. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 09.06.2020 № 560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований».

12. *Пятницкий И.А., Пучкова О.С., Гомболевский В.А., Низовцова Л.А., Ветшева Н.Н., Морозов С.П.* Скрининг рака молочной железы: текущие достижения, перспективы и новые технологии. Вопросы онкологии. – 2019. – Т. 65. – № 5. – С. 664–671.

13. *Тюрин И.Е.* Лучевая диагностика в Российской Федерации. // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2018;1(4):43–51. https://doi.org/10.37174/2587-7593-2018-1-4-43-51.

14. Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

15. *Baldwin D.R., Gustafson J., Pickup L., Arteta C., Novotny P., Declerck J., Kadir T., Figueiras C., Sterba A., Exell A., Potesil V., Holland P., Spence H., Clubley A., O'Dowd E., Clark M., Ashford-Turner V., Callister M.E., Gleeson F.V.* External validation of a convolutional neural network artificial intelligence tool to predict malignancy in pulmonary nodules. Thorax. 2020 Apr; 75(4):306–312. doi: 10.1136/thoraxjnl-2019–214104.

16. *Christodoulakis C., Asgarian A., Easterbrook S., eds.* Barriers toadoption of information technology in healthcare.Proceedings ofthe 27th Annual International Conference on Computer Scienceand Software Engineering. Armonk, NY: IBM Corp; 2017.

17. *Codari M., Melazzini L., Morozov S.P. et al.* Impact of artificial intelligence on radiology: a EuroAIM survey among members of the European Society of Radiology. Insights Imaging. 2019 Oct 31; 10(1):105. doi: 10.1186/s13244-019-0798-3.

18. *Kaka H., Zhang E., Khan N.* Artificial Intelligence and Deep Learning in Neuroradiology: Exploring the New Frontier. Can Assoc Radiol J. 2020 Sep 18:846537120954293. doi: 10.1177/0846537120954293.

19. *Kakileti S.T., Madhu H.J., Krishnan L., Manjunath G., Sampangi S., Ramprakash H.V.* Observational Study to Evaluate the Clinical Efficacy of Thermalytix for Detecting Breast Cancer in Symptomatic and Asymptomatic Women. JCO Glob Oncol. 2020 Oct; 6:1472–1480. doi: 10.1200/GO.20.00168.

20. *Kim D.W., Jang H.Y., Kim K.W., Shin Y., Park S.H.* Design Characteristics of Studies Reporting the Performance of Artificial Intelligence Algorithms for Diagnostic Analysis of Medical Images: Results from Recently Published Papers. Korean J Radiol. 2019 Mar; 20(3):405–410. https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0025.

21. *Liu X., Cruz Rivera S., Moher D. et al.* Reporting guidelines for clinical trial reports for interventions involving artificial intelligence: the CONSORT-AI extension. Nat Med.2020; 26: 1364–74. https://doi.org/10.1038/s41591-020-1034-x.

22. *Morozov S.P., Andreychenko A.E., Pavlov N.A., Vladzymyrskyy A.V., Ledikhova N.V. et al.* MosMedData: Chest CT Scans With COVID-19 Related Findings Dataset. 2020.arXiv:2005.06465.

23. *Pesapane F., Codari M., Sardanelli F.* Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. Eur Radiol Exp. 2018 Oct 24; 2(1):35. doi: 10.1186/s41747-018-0061-6.

24. *Richardson M.L., Garwood E.R., Lee Y., Li M.D., Lo H.S., Nagaraju A., Nguyen X.V., Probyn L., Rajiah P., Sin J., Wasnik A.P., Xu K.* Noninterpretive Uses of Artificial Intelligence in Radiology. Acad Radiol. 2020 Feb 12: S1076-6332 (20) 30039-8. doi: 10.1016/j.acra.2020.01.012.

25. *Tajaldeen A., Alghamdi S.* Evaluation of radiologist's knowledge about the Artificial Intelligence in diagnostic radiology: a survey-based study. Acta Radiol Open. 2020 Jul 31; 9(7):2058460120945320. doi: 10.1177/2058460120945320.

26. *van Assen M., Muscogiuri G., Caruso D., Lee S.J., Laghi A., De Cecco C.N.* Artificial intelligence in cardiac radiology. Radiol Med. 2020 Sep 18. doi: 10.1007/s11547–020–01277-w.

27. *Yedavalli V.S., Tong E., Martin D., Yeom K.W., Forkert N.D.* Artificial intelligence in stroke imaging: Current and future perspectives. Clin Imaging. 2020 Sep 21;69:246–254. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.09.005.

28. *Wu X., Li L., Li H., Tian J., Zha Y.* Deep learning-based multi-view fusion model for screening 2019 novel coronavirus pneumonia: A multicentre study. Eur J Radiol. 2020 Jul; 128:109041. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.109041.

29. *Wu G., Yang P., Xie Y., Woodruff H.C., Rao X., Guiot J., Frix A.N. et al.* Development of a clinical decision support system for severity risk prediction and triage of COVID-19 patients at hospital admission: an international multicentre study. Eur Respir J. 2020 Aug 20;56(2):2001104. doi: 10.1183/13993003.01104–2020.

30. *Zhang Z., Seeram E.* The use of artificial intelligence in computed tomography image reconstruction – A literature review. J Med Imaging Radiat Sci. 2020 Sep 24: S1939–8654 (20) 30296-4. doi: 10.1016/j.jmir.2020.09.001.

А.В. ГУСЕВ,
к.т.н., директор по развитию ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: agusev@webiomed.ai, ORCID: 0000-0002-7380-8460
Р.Э. НОВИЦКИЙ,
генеральный директор ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: roman@webiomed.ai, ORCID: 0000-0002-2350-977X

ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКИ В БОРЬБЕ С ПАНДЕМИЕЙ COVID-19

УДК: 004.81 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-24-33*

Гусев А.В., Новицкий Р.Э. ***Технологии прогнозной аналитики в борьбе с пандемией COVID-19*** *(ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия)*

Аннотация. В последнее время новая коронавирусная инфекция или COVID-19, вызванная возбудителем SARS-CoV-2, продолжает быстрое распространение по всему миру. По мнению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), объявившей эту вспышку пандемией, COVID-19 является серьезной проблемой для общественного здравоохранения, имеющей международное значение. Из-за отсутствия доказанного эффективного лечения и вакцинации против COVID-19 меры предосторожности считаются ВОЗ стратегическими целями и основным способом противодействия пандемии. Руководствам стран рекомендовано принять национальные программы медицинского обслуживания, направленные на оценку и снижение риска распространения инфекции. На этом фоне технологии прогнозной аналитики стали активно использоваться для составления популяционных и персональных прогнозов развития заболеваемости, смертности, оценки тяжести течения болезни и т.д. В данной статье представлен обзор имеющихся разработок и публикаций по теме применения прогнозной аналитики для борьбы с пандемией COVID-19.

Ключевые слова: *программное обеспечение, прогнозная аналитика, искусственный интеллект, машинное обучение, dashboard, COVID-19.*

UDC: 004.81

Gusev A.V., Novitsky R.E. ***Predictive analytics technologies in the management of the COVID-19 pandemic*** *(LLC "K-Skai", Petrozavodsk, Russia)*

Abstract. Recently, a new coronavirus infection, or COVID-19, caused by the pathogen SARS-CoV-2, has been continuing to spread around the world rapidly. According to the World Health Organization (WHO), which declared this outbreak a pandemic, COVID-19 is a serious public health problem of international concern. Due to the lack of proven effective treatment and vaccination against COVID-19, precautions are considered by WHO to be strategic goals and a primary response to the pandemic. It is recommended that country guidelines adopt national health care programs aimed at assessing and reducing the risk of infection spread. Predictive analytics have begun to be actively used to compile population and personal forecasts of the progression of morbidity, mortality, assess the severity of the course of the disease, etc. This article provides an overview of available developments and publications on the use of predictive analytics in the management of COVID-19 pandemic.

Keywords: *software, predictive analytics, artificial intelligence, machine learning, dashboard, COVID-19.*

ВВЕДЕНИЕ

Новая коронавирусная инфекция или COVID-19, вызванная возбудителем SARS-CoV-2, продолжает быстрое распространение по всему миру. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила 11 марта 2020 г. вспышку COVID-19 пандемией. По мнению ВОЗ, она является серьезной проблемой для общественного здравоохранения, имеющей международное значение [1].

Отрицательная динамика роста заболеваемости и смертности привели к острой необходимости улучшения диагностики заболевания, разработке вакцин и новых лекарственных препаратов с целью обнаружения, профилактики и лечения этого смертельно опасного вируса. Существенный рост заболеваемости COVID-19 привел к серьезному давлению на системы здравоохранения практически во всех странах мира, положение которых характеризуется как кризисное [2].

© А.В. Гусев, Р.Э. Новицкий, 2020 г.

Из-за отсутствия эффективного лечения и вакцинации против COVID-19 меры предосторожности считаются ВОЗ стратегическими целями и основным способом противостояния пандемии. Правительствам рекомендовано принять национальные программы медицинского обслуживания, направленные на **оценку и снижение риска** распространения инфекции, особенно для пациентов с хроническими заболеваниями [1, 2].

На фоне развития пандемии COVID-19 возросла роль прогнозной аналитики, которая является частью более широкого термина «медицинская аналитика». Под медицинской аналитикой мы понимаем использование данных, статистического и количественного анализа и аналитических моделей, включая прогнозное моделирование, которые на основании выявления и понимания ретроспективных данных, помогают понять будущие события и осуществлять поддержку принятия решений. Медицинская аналитика разделяется на несколько видов: описательная аналитика (Descriptive Analytics), прогнозная аналитика (Predictive Analytics) и предписывающая аналитика (Prescriptive Analytics) [3].

Прогнозная аналитика (Predictive Analytics) использует имеющиеся ретроспективные данные и различные прогнозные модели, созданные в том числе с помощью машинного обучения, чтобы помочь ответить на вопрос «Что может случиться?». Прогнозную аналитику можно условно разделить на управленческую и клиническую. **Управленческая прогнозная аналитика** предназначена для поддержки принятия управленческих решений и используется руководителями различного уровня для оценки возможных сценариев развития заболеваний, нагрузки на медицинские организации, потребности в лекарствах и т.д. **Клиническая прогнозная аналитика** предназначена для поддержки принятия врачебных решений, включая анализ медицинских данных пациентов, контроль правильности лекарственной терапии, выбор оптимальной маршрутизации и тактики ведения пациента и т.д.

По данным ряда маркетинговых отчетов последнего времени, пандемия COVID-19 привела к существенному повышению интереса инвесторов к медицинской аналитике. Отчеты 2019 г. давали оценку роста этого рынка к 2027 г. до 18–40 млрд. долл. США [4, 5]. Аналогичные отчеты в апреле 2020 г. повысили его оценку до 80 млрд. долл. в 2027 г. [6], а последний отчет имеет прогноз уже 84 млрд. долл. США в 2027 г., причем на долю именно прогнозной аналитики приходится 28,6 млрд. долл. США или 34% от всего размера рынка медицинской аналитики [7].

ОБЗОР РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗНОЙ УПРАВЛЕНСКОЙ АНАЛИТИКИ

В период любой эпидемии, и тем более пандемии, критически важно принимать продуманные и обоснованные стратегические решения в области управления национальным здравоохранением, поскольку как переоценка, так и недооценка ситуации может приводить к плачевным результатам не только в плане зараженных и заболевших, но и в плане экономических потерь, социальной напряженности и многих других глобальных проблем. Принятие решений политиками, руководителями здравоохранения разного уровня должно быть основано на точных и достоверных прогнозах количества инфицированных и заболевших, а также на основе оценки действительной динамики смертности, хотя бы в краткосрочной перспективе.

Отсутствие или игнорирование таких прогнозов в отношении COVID-19, особенно в течение первой волны пандемии, приводило к неопределенности, что, в свою очередь, порождало порой громкие и пугающие заявления, усиливающие глобальную тревогу. Вводимые властями непопулярные меры, основанные в том числе на противоречивых и вселяющих беспокойство прогнозах множества экспертов, вызывали недовольство населения и недоверие к способности системы справится с пандемией.

В начале февраля 2020 г., еще до официального объявления пандемии, глава ВОЗ заявил, что случаи новой коронавирусной инфекции, зафиксированные в Китае, могут быть лишь «верхушкой айсберга». После этого ведущий эпидемиолог Гонконга в области общественного здравоохранения Габриэль Леунг сообщил, что около 60% населения земли будет инфицировано новым вирусом [8]. В середине февраля 2020 профессор Гарвардской школы общественного здравоохранения Chan Марк Липсич в интервью Wall Street Journal предсказал, что до конца 2020 года будут инфицированы до 70% населения планеты [9]. В середине марта 2020 г. канцлер Германии Ангела Меркель высказала мнение, что до 70% жителей страны могут заразится коронавирусом [10]. Такие устрашающие прогнозы звучали практически каждый день, мгновенно распространялись по

социальным сетям и СМИ, и в итоге в мире фактически развилось две пандемии: первая – вирусная, а вторая – информационная.

В то же самое время ряд экспертов стал отмечать, что громкие заявления о возможном числе инфицированных и умерших от COVID-19 делаются без проведения достоверных математических прогнозов и скорее являются признаками страха и паники, что может привести к разрушительным экономическим и социальным потрясениям [11]. Немецкий иммунолог и токсиколог, профессор Стефан Хокерц заявил, что COVID-19 не более опасен, чем грипп, просто ему уделяется больше внимания. Опаснее вируса являются страх и паника, создаваемые СМИ, и «авторитарная реакция» многих правительств. Профессор Хокерц также отметил, что большинство так называемых «умерших от коронавируса» на самом деле просто имели положительный результат теста, а умерли от других причин [12].

Представленные противоречивые заявления экспертов только укрепляют наше понимание, что наличие достоверных популяционных прогностических моделей развития ситуации является жизненно-важным аспектом работы руководителей в сфере здравоохранения, политиков и государственных служащих во многих странах. В апреле 2020 г. Президент РФ Владимир Путин, обращаясь к Правительству, заявил: «Для того, чтобы и дальше действовать на упреждение, нам нужен профессиональный прогноз, в том числе на ближайшее время – трёх, семи, десяти дней. Я прошу правительство вести и постоянно обновлять такой прогноз, исходя из реально складывающейся обстановки, и прошу докладывать мне об этом ежесуточно» [13]. Некоторые авторы также стали обращать внимание, что средствам массовой информации и общественности следует больше опираться на доступные математические прогнозные модели, построенные на открытых данных [14].

В истории человечества было много вспышек инфекционных заболеваний, таких как лихорадка денге, малярия, грипп, ВИЧ / СПИД. Создание надлежащей эпидемиологической модели для этих эпидемий – сложная задача. Для прогнозирования развития пандемии COVID-19 было предложено большое количество разнообразных моделей, многие из них были основаны на моделях SIS, SIR и SEIR [15]. Большое количество моделей были опубликованы в открытом доступе.

Модель SIR направлена на прогнозирование 3 показателей численности людей S (susceptible-восприимчивых), I (infected – инфицированных) и R (recovered – выздоровевших). Эта модель была введена в 1927 году, менее чем через 10 лет после пандемии гриппа 1918 года. Ее популярность может быть частично связана с ее простотой, которая позволяет разработчикам предсказать поведение инфекции путем оценки небольшого числа параметров [16].

Модель SEIR имеет четыре прогнозных элемента: S (восприимчивые), E (подверженные воздействию), I (инфицированные) и R (выздоровевшие). Основная гипотеза модели SEIR состоит в том, что со временем все участники модели будут играть четыре роли. Модель SEIR имеет некоторые ограничения для реальных ситуаций, но она обеспечивает базовую модель для исследования различных видов эпидемий, в том числе активно применялась для прогнозирования развития пандемии COVID-19 [15].

Yu-Feng Zhao и соав. предложили свой подход на основе 6-ти скользящих серых моделей Verhulst с использованием 7-, 8- и 9-дневных последовательностей данных для прогнозирования суточной тенденции роста числа пациентов, у которых подтверждена инфекция COVID-19 в Китае. Максимальная и минимальная средняя абсолютная ошибка в процентах (MAPE) на этапе тестирования составили 4,72% и 1,65% соответственно. Это означает, что предсказанные результаты демонстрируют высокую надежность [17].

Для создания прогностических моделей в мире появилось много общедоступных материалов, таких как данные Университета Джона Хопкинса, Лаборатории Декарта, Бюро переписи населения США, данные ВОЗ и др.

Многие медицинские центры объявили о том, что будут предоставлять в открытом доступе обезличенные наборы клинических сведений, таких как истории болезни или медицинские изображения, с целью применения машинного обучения и создания цифровых инструментов для борьбы с COVID-19, в том числе и для прогнозной аналитики. Например, сеть медицинских клиник HM Hospitales предоставила доступ к 2157 анонимным историям болезней, содержащим различную информацию о пациентах, получивших лечение от COVID-19, включая подробные описания диагнозов, лечения, нахождения в отделении интенсивной терапии, результаты лабораторной диагностики, данные о выписке или смерти.

Поскольку существующие в открытом доступе материалы о COVID-19 сфокусированы преимущественно на демографических критериях, применение дополнительных обезличенных баз медицинских данных является важным шагом вперед в части создания более точных прогнозных инструментов.

В России был запущен специальный портал с открытой информацией по COVID-19, доступный по адресу: https://стопкоронавирус.рф/information/. Также открытые данные доступны на портале Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС, https://www.fedstat.ru/), а также «Портале открытых данных Правительства Москвы», https://data.mos.ru/.

В открытом доступе стали появляться различные аналитические панели, показывающие динамику пандемии и интегрированные в них прогнозные модели. Одна из самых известных и используемых аналитических панелей была предложена университетом Джона Хопкинса, доступ к которой был открыт 23 января 2020. Панель визуализирует данные, полученные из ВОЗ, центров по контролю и профилактике заболеваний США (Centers for Disease Control and Prevention), Европейского центра профилактики и контроля заболеваний (European Centre for Disease Prevention and Control), национальной комиссии здравоохранения КНР (National Health Commission of the People's Republic of China), трекеров реального времени 1point3acres, DXY и Worldmeters.info, новостного агрегатора BNO, государственных и национальных правительственных департаментов здравоохранения, а также сообщений местных СМИ. Составной частью панели является модель прогнозирования эпидемии, которая выкладывается на GitHub по адресу: https://github.com/HopkinsIDD/COVIDScenarioPipeline.

Построенная аналитическая панель стала самым визуализированным набором данных о пандемии *(рис. 1)*. Доступ к панели «Coronavirus COVID-19 Global Cases by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)»

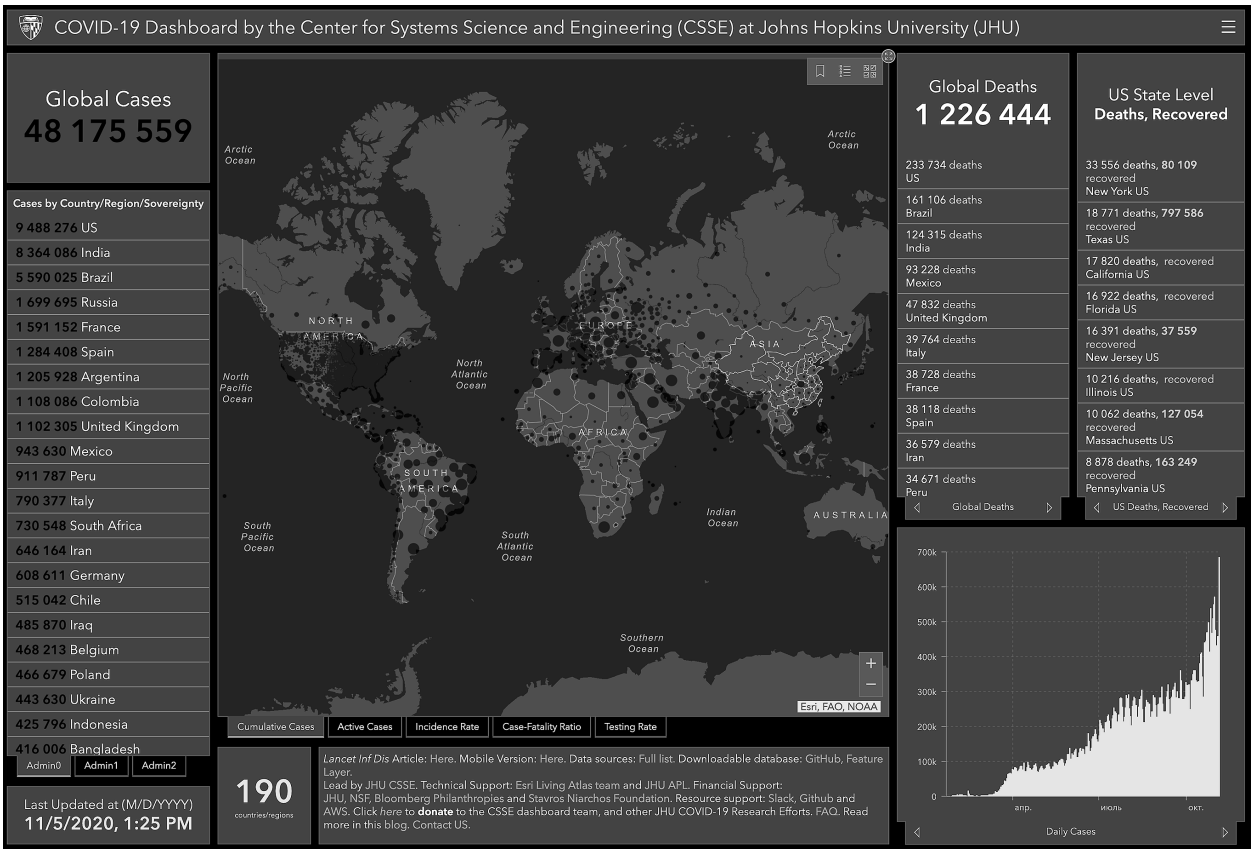


Рис. 1. **Аналитическая панель Coronavirus COVID-19 Global Cases by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU), по данным на 05.11.2020**

открыт по адресу: https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6.

ВОЗ также в постоянном режиме анализирует заболеваемость и смертность населения во всех странах мира. В открытом доступе находится аналитическая панель «WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard», https://covid19.who.int/, скриншот которой представлен на *рис. 2*.

Google Cloud в сотрудничестве с Гарвардским глобальным институтом здравоохранения представили «Национальный портал реагирования» (National Response Portal, NRP), доступный по адресу: https://map.nationalresponseportal.com/portal. На нем они представили публичные прогнозы случаев COVID-19, смертей и других показателей на ближайшие 14 дней для округов и штатов США. Для этого были разработаны новые модели машинного обучения на основе временных рядов и достоверных открытых эпидемиологических баз данных [18].

Академический медицинский центр «Клиника Кливленда» (Cleveland Clinic), управляющий 11 больницами и 19 медицинскими центрами в различных штатах США, совместно с американской компанией SaS разработали аналитическую панель для принятия решений в связи с пандемией COVID19 и прогнозированию ее развития в различных разрезах, состоящую из 10 различных прогностических моделей. Некоторые из них опубликованы в открытом доступе на GitHub по адресу: https://github.com/sassoftware/covid-19-sas. При этом модели предназначались для различных сценариев, включая полную неэффективность ограничительных мер и т.д. Модели прогнозировали смертность, число пациентов, нуждающихся в госпитализации или аппаратах искусственной вентиляции лёгких и т. д. На основании прогнозов руководство центра принимало решения о разворачивании дополнительных коек, открытии временных больниц и т. д. По мнению руководителей, это позволило центру более эффективно организовывать медицинские процессы, что в свою очередь позволило достичь более низких показателей заболеваемости по сравнению с другими штатами [19].

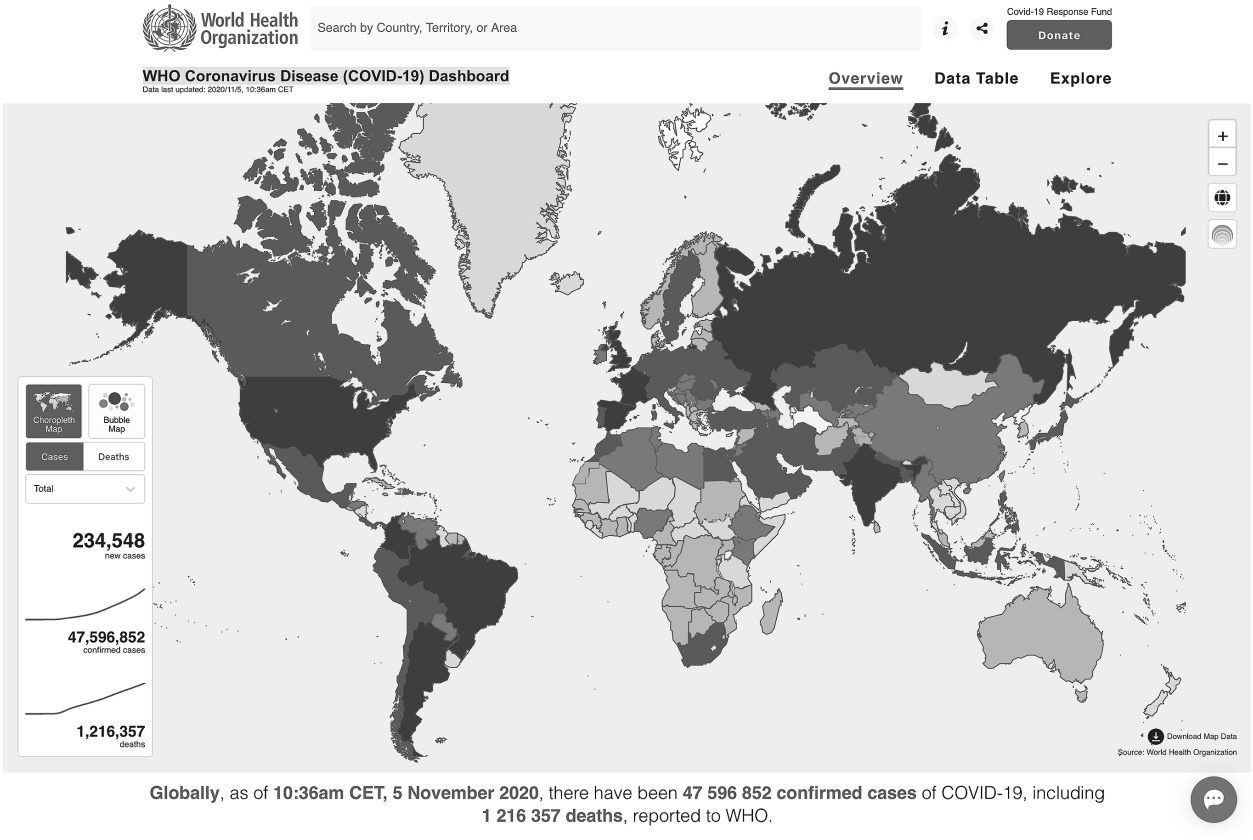


Рис. 2. **Аналитическая панель WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard по данным на 05.11.2020**

Группа специалистов из Исследовательского центра операций Массачусетского технологического института (MIT) под руководством профессора Димитриса Берцимаса разработала и предоставила в открытом доступе несколько прогнозных инструментов, включая популяционные модели и калькуляторы персонального риска для применения медицинскими центрами и политиками США в качестве инструментов борьбы с COVID-19. Все наработки доступны по адресу: https://www.covidanalytics.io/.

Модель Калифорнийского Университета в Лос-Анжелесе (UCLA) на основе открытых данных и машинного обучения предназначена для использования политиками и руководителями медицинских клиник с целью предсказания развития эпидемии и принятия решений о необходимости развертывания дополнительных мощностей. Адрес доступа: https://covid19.uclaml.org/

Многие штаты, университеты и исследовательские центры также разработали свои аналитические панели, их адреса доступа:

- http://www.covid19dashboard.us/;
- https://covid-19.tacc.utexas.edu/projections/;
- https://www.cc.gatech.edu/~badityap/covid.html;
- https://covid19.healthdata.org/united-states-of-america;
- https://covid-19.bsvgateway.org/;
- https://covid19.gleamproject.org/;
- https://github.com/shaman-lab/COVID-19-Projection.

ОБЗОР РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗНОЙ КЛИНИЧЕСКОЙ АНАЛИТИКИ

Пандемия COVID-19 привела к существенному росту нагрузки на систему здравоохранения. Были мобилизованы все возможные силы, созданы новые инфекционные больницы, пересмотрены правила направления пациентов на обследование и лечение. Основная задача, которую решали организаторы здравоохранения практически во всех странах мира, состояла в перенастройке системы здравоохранения с целью справиться с возросшей нагрузкой из-за обращений пациентов COVID-19 с учетом имеющихся ограниченных ресурсов, таких важных как медицинский персонал, средства индивидуальной защиты, оборудование для интенсивной терапии.

Медицинским организациям, оказывающим помощь больным с COVID-19, приходилось принимать, обследовать и лечить намного большее количество пациентов, чем было рассчитано в штатной ситуации. Нагрузка на медицинский персонал возросла. В этой связи появилось множество разработок и публикаций, посвященных применению искусственного интеллекта в качестве систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР), главным образом в области автоматизированного анализа компьютерной томографии (КТ) грудной клетки с целью сокращения врачебных ошибок и нагрузки на медицинский персонал [21, 22, 23].

Вместе с этим разработки в области прогнозной клинической аналитики также эффективно проявили себя в нескольких аспектах:

1. Как симптомчекеры, которые определяли вероятность, что пациент заразился коронавирусной инфекцией.

2. Как инструменты оценки риска заражения, например, на основании информации о контактах, перемещениях граждан и т.д.

3. Как калькуляторы оценки персонального риска развития осложнений и смерти.

4. Как системы помощи при маршрутизации пациентов и т.д.

При лечении пациентов с COVID-19 важным является быстрая, точная и ранняя клиническая оценка тяжести заболевания. На её основе необходима быстрая и эффективная сортировка пациентов, которая имеет решающее значение как для эффективного лечения пациентов, так и для обоснованного и рационального использования ограниченных ресурсов, таких как аппараты ИВЛ, реанимационные койки, медицинский персонал. Такую персональную индивидуализированную оценку состояния пациента и возможных сценариев развития здоровья предоставляют прогнозные модели, разрабатываемые для применения в реальной клинической практике как СППВР.

В настоящее время в мире разработано множество прогнозных инструментов для применения врачами. Bayat и соав. представили модель, умеющую с точностью 86,4% предсказать диагноз COVID-19 на основании 20 стандартных лабораторных тестов, выполненных в течение 2-дневного периода до даты тестирования на COVID-19 [24].

Yan и соавт. опубликовали в «Nature Machine Intelligence» статью, в которой представили результаты разработки модели на основе машинного обучения, предсказывающей госпитальную летальность пациентов с COVID-19 более чем за 10 дней с точностью выше 90%. На основе

анализа базы данных образцов крови 485 инфицированных пациентов г. Ухань, Китай, авторы выделили 3 входных параметра: высокочувствительный тест на С-реактивный белок, уровень лактатдегидрогеназы крови и относительное содержание лимфоцитов в крови [25].

Liang и соавт. представили модель прогнозирования риска развития критических состояний у пациентов с COVID-19, позволяющую выявлять пациентов, подверженных риску развития серьезных осложнений и проводить им оперативные лечебные мероприятия на ранней стадии. На основе данных о 1590 пациентах из 575 медицинских центров исследователи разработали основанную на алгоритмах глубокого машинного обучения модель выживания, предсказывающую развитие критических состояний в течение 5, 10 и 30 дней, исходя из персональных клинических характеристик при поступлении. Изучив 74 клинические характеристики, авторы выделили 10 ключевых факторов риска, включая патологию, зарегистрированную при рентгеновской визуализации, возраст, одышку и ряд сопутствующих заболеваний [26].

Schalekamp и соавт. с помощью многомерной логистической регрессии разработали калькулятор индивидуальной оценки риска развития критического состояния у пациентов с COVID-19, таких как смерть, госпитализация в отделение интенсивной терапии, необходимость инвазивной вентиляции легких и т.д. Модель анализирует клинические, рентгенологические и лабораторные данные пациента. AUC модели составила 0,77 [27].

Jehi и соав. представили модель прогнозирования госпитализации пациентов с COVID-19. Использовав базу данных лабораторного подтвержденного диагноза COVID-19 у 4536 пациентов, авторы применили метод логистической регрессии оператора наименьшего абсолютного сжатия и выбора «LASSO». AUC модели составила 0,90 [28].

Компании «Digital Health» и «Optum Ventures» разработали инструмент «Buoy COVID-19 Digital Symptom Tracker» для оценки риска заражения COVID-19, использовав руководство Центров по контролю и профилактике заболеваний.

В США Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) предоставило экстренное разрешение для системы оценки медицинских данных на основе искусственного интеллекта «CLEW Medical», которое позволяет выявлять инфицированных COVID-19 с высоким риском дыхательной или сердечно-сосудистой недостаточности, поступивших в отделение интенсивной терапии. Система «CLEWICU» принимает большой спектр данных о пациентах, включая сведения из электронных медицинских карт (ЭМК) и подключенных медицинских устройств без необходимости ручного ввода информации. В ответ система выдает предупреждение о потенциальном ухудшении состояния пациента для принятия врачебных решений. Кроме выявления пациентов высокого риска, система также определяет пациентов, которые не нуждаются в каких-либо вмешательствах в течение ближайших восьми часов. Принимая решение о разрешении для указанной системы, FDA сообщило, что «CLEWICU» может помочь уменьшить контакт между медицинскими работниками и пациентами с COVID-19. «Благодаря выявлению пациентов с высоким риском и определения приоритетов лечения можно снизить частоту ложных опасений. Это, вероятно, обеспечит лучшую помощь пациентам и снизит нагрузку на персонал отделений интенсивной терапии», – сказано в заявлении FDA, которое выдало разрешение на экстренное использование системы [29].

Система «eCart», используемая в более, чем 20 госпиталях США, применяется для предсказания летальности у пациентов, находящихся в отделениях реанимации. Система интегрирует данные из ЭМК пациентов (например, показатели жизнедеятельности, результаты лабораторных исследований и демографическую информацию) для обеспечения оценки рисков пациентов в реальном времени [30]. Новая версия системы, модернизированная в связи с пандемией COVID-19, использует около 100 различных параметров для работы прогнозных моделей.

В Великобритании в Национальной системе здравоохранения (NHS) внедряется сервис, который автоматически выявляет пациентов высокого риска, например, пожилых людей и пациентов, имеющих хронические заболевания, потенциально опасные для осложненного течения COVID-19. Сервис автоматически персонально информирует их о принадлежности к группе риска с рекомендациями оставаться дома [31].

В Израиле Maccabi Healthcare Services, одна из крупнейших организаций здравоохранения, использует ИИ для определения наиболее подверженных риску тяжёлых осложнений COVID-19 из обслуживаемых 2,4 миллионов человек. Для этого разработчики адаптировали уже существовавшую

раннее систему, обученную давать оценку риска по гриппу. Используя миллионы медицинских данных, накопленные в Maccabi за 27 лет, удалось создать систему выявления пациентов высокого риска на основе таких данных, как возраст, индекс массы тела, наличие хронических заболеваний, данные предыдущих госпитализаций и т.д. ИИ-система может автоматически просматривать огромное количество записей и выявлять лиц высокого риска. На основе этой оценки Maccabi автоматически определяет рекомендуемую индивидуальную тактику ведения каждого пациента: следует ли его оставить дома, отправить в карантинный отель или на госпитализацию [32].

Еще одна разработка из Израиля, созданная в интересах Министерства обороны Израиля, тоже использует ИИ и обучение на основании собранных в медицинских клиниках данных для определения пациентов с высоким риском развития осложнений от COVID-19. Прогнозная система на базе этой технологии может предупреждать медицинский персонал о возможном ухудшении состояния пациента, привлекая внимание врачей к пациентам с более высокими рисками прогрессирования болезни и тем самым значительно улучшая эффективность лечения пациента. Модель была разработана исследователями и инженерами подразделения «Systems Missiles and Space Group» компании «IAI». Система может предупредить врачей об ухудшении или улучшении состояния пациента в ближайший день с точностью 80%. При этом в случаях, когда состояние пациента остается прежним, точность модели составляет от 90% до 92% [33].

Компания «Jvion» использует методы машинного обучения для создания алгоритма, который помогает определить вероятность заражения и распространения вируса, а также заражения, требующего госпитализации. Для этого в «Jvion» оценивают индивидуальные факторы риска, минимальные или отсутствующие клинические данные и используют ограниченную информацию, которая не требует специальных медицинских устройств. Дополнительно к медицинским данным, ИИ способен учесть такие факторы как проживание в плотно населённых районах, посещение общественных мероприятий и многое другое. Это позволит применить ИИ для автоматической оценки больших групп населения с целью определения среди них лиц высокого риска без необходимости их личного посещения медицинской организации. Такие инструменты позволяют соединить в одном как управленческую популяционную аналитику, так и персональные выявление и мониторинг пациентов высокого риска [34].

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКИ КАК ИНСТРУМЕНТА БОРЬБЫ С ПАНДЕМИЕЙ COVID-19

Основная проблема большинства управленческих прогнозных моделей состоит в том, что они учитывают весьма ограниченный набор данных, таких как статистика заболеваемости и смертности, которые в действительности не являются индикаторами причин развития пандемии, а служат лишь проекциями состоявшихся фактов. В этой связи, многие модели давали и продолжают давать существенные расхождения в реальной точности. Maggie Koerth, Laura Bronner и Jasmine Mithani приводят интересные примеры: Центры по контролю и профилактике заболеваний США (The Centers for Disease Control and Prevention) используют модель, согласно которой в конце марта 2020 в США ожидалось около 200 тыс. смертей. В то же самое время Imperial College London предсказывал, что смертность в США в тот же период времени составит 2,2 млн. человек [17].

Для повышения эффективности прогнозных управленческих моделей целесообразно повышать их предсказательную точность. Для этого, вероятно, они должны обновляться ежедневно с целью коррекции своих параметров на основании оперативных данных, а также, по возможности, учитывать распространенность основных факторов риска COVID-19, действующих ограничительных мер и многих других факторов, которые еще предстоит осознать.

Еще одной существенной проблемой повышения эффективности прогнозной аналитики является отсутствие достаточных исходных данных. Многие открытые наборы ограничены лишь демографическими показателями и общими данными заболеваемости и смертности. Для развития прогнозных инструментов нужны дополнительные входные данные, включая сведения из ЭМК, точные сведения о диагнозе заболевания, лабораторные и иные данные. Такие наборы просто недоступны на уровне регионов или стран в целом, хотя присутствуют во многих локально установленных системах ведения ЭМК, что является одной из главных проблем развития популяционных прогнозных инструментов

[31]. Необходимо развивать программы, направленные на сбор и предоставление открытого доступа к таким материалам.

Важнейшим направлением дальнейших исследований и разработок как в части популяционных прогнозных моделей, так и в моделях для персональной оценки риска, является оценка эффекта различных интервенций в снижение бремени заболеваемости COVID-19.

Руководители и лица, принимающие решения, в настоящее время нуждаются не только и не столько в моделях прогнозирования пандемии, сколько в инструментах, созданных по принципу «что, если?» – другими словами в инструментах предписывающей аналитики. Такие разработки могли бы помочь оценить эффективность различных управленческих решений и сценариев развития заболеваемости, например, таких как ограничительные меры, и содействовать более эффективному и своевременному управлению, в том числе – и отказу от мер, не имеющих достоверного влияния на клинические исходы.

В условиях пандемии врачи в большей степени нуждаются не в калькуляторах оценки риска, а в надёжных и эффективных системах поддержки принятия врачебных решений, бесшовно интегрированных в системы ведения ЭМК. В условиях чрезмерной нагрузки и дефицита времени у врачей нет возможности использовать точные, но часто требующие ручного ввода модели оценки рисков. Вместо создания все новых и новых калькуляторов, разработчикам следует сосредоточится на интеграции указанных инструментов в ЭМК и обеспечении автоматизации их работы. Лишь в случае обнаружения опасной ситуации прогнозные модели должны давать соответствующий сигнал в ЭМК, а система ЭМК должна выводить его на экран врачу или отправлять соответствующее сообщение на мобильный телефон, тем самым обращая внимание врача только в обоснованном случае, который требует врачебного вмешательства.

Финансирование исследования и конфликт интересов. Исследование финансировалось в рамках выполнения гранта компании ООО «К-Скай» с Некоммерческой Организацией «Фонд развития центра разработки и коммерциализации новых технологий» (Фонд «Сколково») № МГ04/20 от 22 мая 2020 г. по теме «Разработка системы поддержки принятия врачебных решений с использованием методов машинного обучения WEBIOMED». Конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic, https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019
2. *Hamed M.A.* An overview on COVID-19: reality and expectation. Bull Natl Res Cent. 2020;44(1):86. doi: 10.1186/s42269-020-00341-9. Epub 2020 Jun 1. PMID: 32514228; PMCID: PMC7266424, https://doi.org/10.1186/s42269-020-00341-9
3. *Khalifa M.* Health Analytics Types, Functions and Levels: A Review of Literature. Stud Health Technol Inform. 2018;251:137–140. PMID: 29968621, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29968621/
4. Healthcare Analytics Market Size By Product (Descriptive Analytics, Predictive Analytics, Prescriptive Analytics), By Application (Operations Management, Financial Management, Population Health Management, Clinical Management) By End-Use (Hospitals, Clinics, Others), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019–2025, https://www.gminsights.com/industry-analysis/healthcare-analytics-market
5. Global Healthcare Analytics Markets, 2019–2024 by Type, Solution, Deployment Model, Application, End-user, and Geography – ResearchAndMarkets.com, https://www.researchandmarkets.com/reports/4858254/healthcare-analytics-market-forecasts-from-2019
6. Healthcare Analytics Market Size, Share & Industry Analysis, By Product (Descriptive, Predic-tive, and Prescriptive), By Application (Financial Analytics, Population Health Analytics, Clinical Analytics, and Operations and Administrative Analytics), By End User (Payers, Providers, and Others) and Regional Forecast, 2019–2026, https://www.fortunebusinessinsights.com/healthcare-analytics-market-102641
7. Healthcare Analytics Market by Type (Predictive, Prescriptive), Component (Hardware, Software, and Services), Delivery Mode (Cloud), Application (Clinical, RCM, Claims, Fraud, Risk, PHM), End user (Payer, Provider) and Geography- Global Forecast to 2027, https://www.meticulousresearch.com/product/healthcare-analytics-market/
8. Coronavirus 'could infect 60% of global population if unchecked', https://www.theguardian.com/world/2020/feb/11/coronavirus-expert-warns-infection-could-reach-60-of-worlds-population
9. Harvard Professor Sounds Alarm on 'Likely' Coronavirus Pandemic: 40% to 70% of World Could Be Infected This Year, https://www.mediaite.com/news/harvard-professor-sounds-alarm-on-likely-coronavirus-pandemic-40-to-70-of-world-could-be-infected-this-year/

10. Coronavirus: Up to 70% of Germany could become infected – Merkel, https://www.bbc.com/news/world-us-canada-51835856
11. The Cognitive Bias That Makes Us Panic About Coronavirus, https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2020–02–28/coronavirus-panic-caused-by-probability-neglect
12. Коронавирус: опасная иллюзия смертности, https://habr.com/ru/post/494896/
13. Путин о коронавирусе: «Нам нужен профессиональный прогноз», https://vostokmedia.com/news/society/13–04–2020/putin-o-koronaviruse-nam-nuzhen-professionalnyy-prognoz
14. *Jewell N.P., Lewnard J.A., Jewell B.L.* Predictive Mathematical Models of the COVID-19 Pandemic: Underlying Principles and Value of Projections. JAMA. 2020;323(19):1893–1894. doi:10.1001/jama.2020.6585, https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2764824
15. *He S., Peng Y. & Sun K.* SEIR modeling of the COVID-19 and its dynamics. Nonlinear Dyn 101, 1667–1680 (2020). https://doi.org/10.1007/s11071-020-05743-y
16. *Tolles J., Luong T.* Modeling Epidemics With Compartmental Models. JAMA. 2020;323(24):2515–2516. doi:10.1001/jama.2020.8420, https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2766672
17. *Zhao Y.-F., Shou M.-H., Wang Z.-X.* Prediction of the Number of Patients Infected with COVID-19 Based on Rolling Grey Verhulst Models. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 4582, https://doi.org/10.3390/ijerph17124582
18. Why It's So Freaking Hard To Make A Good COVID-19 Model, https://fivethirtyeight.com/features/why-its-so-freaking-hard-to-make-a-good-covid-19-model/
19. Google Cloud AI and Harvard Global Health Institute Collaborate on new COVID-19 forecasting model, https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/google-cloud-is-releasing-the-covid-19-public-forecasts
20. Cleveland Clinic's COVID-19 strategy driven by data modeling, https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/feature/Cleveland-Clinics-COVID-19-strategy-driven-by-data-modeling
21. *Harmon S.A., Sanford T.H., Xu S. et al.* Artificial intelligence for the detection of COVID-19 pneumonia on chest CT using multinational datasets. Nat Commun 11, 4080 (2020). https://doi.org/10.1038/s41467-020-17971-2
22. *Морозов С.П., Гомболевский В.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Мокиенко О.А., Владзимирский А.В., Белевский А.С., Проценко Д.Н., Лысенко М.А., Зайратьянц О.В., Никонов Е.Л.* Прогнозирование летальных исходов при covid-19 по данным компьютерной томографии органов грудной клетки. Туберкулез и болезни легких. – 2020. – Т. 98. – № 6. – С. 7–14.
23. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов: препринт № ЦДТ – 2020 – I. Версия 2 от 17.04.2020 / сост. С.П. Морозов, Д.Н. Проценко, С.В. Сметанина [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 65. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 78 с.
24. *Bayat V., Phelps S., Ryono R., Lee C., Parekh H., Mewton J., Sedghi F., Etminani P., Holodniy M.* A SARS-CoV-2 Prediction Model from Standard Laboratory Tests. Clin Infect Dis. 2020 Aug 12: ciaa1175. doi: 10.1093/cid/ciaa1175. Epub ahead of print. PMID: 32785701; PMCID: PMC7454351, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32785701/
25. *Yan, L., Zhang, H., Goncalves, J. et al.* An interpretable mortality prediction model for COVID-19 patients. Nat Mach Intell 2, 283–288 (2020). https://doi.org/10.1038/s42256-020-0180-7
26. *Liang W., Yao J., Chen A. et al.* Early triage of critically ill COVID-19 patients using deep learning. Nat Commun 11, 3543 (2020). https://doi.org/10.1038/s41467-020-17280-8
27. *Schalekamp S., Huisman M., van Dijk R.A., Boomsma M.F., Freire Jorge P.J., de Boer W.S., Herder G.J.M., Bonarius M., Groot O.A., Jong E., Schreuder A., Schaefer-Prokop C.M.* Model-based Prediction of Critical Illness in Hospitalized Patients with COVID-19. Radiology. 2020 Aug 13:202723. doi: 10.1148/radiol.2020202723. Epub ahead of print. PMID: 32787701; PMCID: PMC7427120, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32787701/
28. *Jehi L., Ji X., Milinovich A., Erzurum S., Merlino A., Gordon S., Young J.B., Kattan M.W.* Development and validation of a model for individualized prediction of hospitalization risk in 4,536 patients with COVID-19. PLoS One. 2020 Aug 11;15(8): e0237419. doi: 10.1371/journal.pone.0237419. PMID: 32780765; PMCID: PMC7418996, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32780765/
29. FDA greenlights ICU AI for predicting fatal COVID-19 complications, https://www.fiercebiotech.com/medtech/fda-greenlights-icu-ai-for-predicting-fatal-covid-19-complications
30. *Bartkowiak B., Snyder A.M., Benjamin A., Schneider A., Twu N.M., Churpek M.M., Roggin K.K., Edelson D.P.* Validating the Electronic Cardiac Arrest Risk Triage (eCART) Score for Risk Stratification of Surgical Inpatients in the Postoperative Setting: Retrospective Cohort Study. Ann Surg. 2019 Jun;269(6):1059–1063. doi: 10.1097/SLA.0000000000002665. PMID: 31082902; PMCID: PMC6610875, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31082902/
31. Covid-19: NHS datasets 'not sophisticated enough' to flag high risk patients, https://www.digitalhealth.net/2020/03/covid-19-nhs-datasets-not-sophisticated-enough-to-flag-high-risk-patients/
32. Israel is using AI to flag high-risk covid-19 patients, https://www.technologyreview.com/2020/04/24/1000543/israel-ai-prediction-medical-testing-data-high-risk-covid-19-patients/
33. Israel Aerospace разработала AI-модель для прогнозирования прогрессирования болезни у пациентов с COVID-19, https://evercare.ru/news/israel-aerospace-razrabotala-ai-model-dlya-prognozirovaniya-progressirovaniya-bolezni-u
34. How AI can determine which coronavirus patients require hospitalization, https://thenextweb.com/neural/2020/04/02/ai-can-help-manage-hospital-resources-during-the-coronavirus-crisis-syndication/

В.С. ЧЕРНЕГА,
к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Россия, e-mail: v_chernega@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-5054-0396
А.Н. ЕРЕМЕНКО,
врач-уролог, «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, г. Симферополь, Россия,
e-mail: medicalyug@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5318-6561
С.Н. ЕРЕМЕНКО,
заведующий урологическим отделением, «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, г. Симферополь, Россия,
e-mail: medicalyug@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5794-2029

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ МОЧЕВЫХ КОНКРЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

УДК: 616.62.-003.7-089:519.248 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-34-42*

Чернега В.С.[1], Еременко А.Н.[2], Еременко С.Н.[2] ***Повышение точности прогнозирования длительности дробления мочевых конкрементов на основе многофакторных регрессионных моделей*** *([1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия; [2]«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, г. Симферополь, Россия)*

Аннотация. Приведены регрессионные модели для прогнозирования длительности контактной гольмиевой литотрипсии. Модели получены на базе расчетных и экспериментальных данных о длительности различных этапов лазерной литотрипсии. Они позволяют на основании объема и рентгенологической плотности мочевых конкрементов и учета анатомических особенностей больного рассчитать ожидаемое время полной фрагментации камней с более высокой, по сравнению с известной моделью на основе коэффициента дополнительных затрат, точностью.

Ключевые слова: *мочевые конкременты, трансуретральная контактная лазерная литотрипсия, длительность операции, регрессионные модели.*

UDC: 616.62.-003.7-089:519.248

Chernega V.S.[1], Eremenko A.N.[2], Eremenko S.N.[2] ***Increased accuracy of prediction of fragmentation duration of urinary stones based on multifactorial regression models*** *([1]Sevastopol State University, Sevastopol, Russia; [2]V. I. Vernadsky Crimean Federal University, St. Luke's Clinical Medical Multidisciplinary Center, Simferopol, Russia)*

Annotation. The regression models for prediction of contact holmium lithotripsy duration are given. Models are obtained on the basis of calculated and experimental data on duration of different stages of laser lithotripsy. They allow, based on the volume and radiological density of urinary stones and taking into account the anatomical characteristics of the patient, to calculate the expected time of complete fragmentation of the stones with a higher accuracy than on the factor of additional costs the known model based.

Keywords: *urinary stones, transurethral contact laser lithotripsy, operation duration, regression models.*

ВВЕДЕНИЕ

При лечении мочекаменной болезни (МКБ) «золотым стандартом» современной урологии является контактная гольмиевая литотрипсия [1]. К важным показателям гольмиевой литотрипсии относится продолжительность операции по удалению мочевых конкрементов, так как она оказывает заметное влияние на возникновение послеоперационных осложнений и время нахождения послеоперационных больных в стационаре [2, 3, 4]. От продолжительности операции также зависит выбор

© В.С. Чернега, А.Н. Еременко, С.Н. Еременко, 2020 г.

анестезиологического пособия, планирование литотрипсии, что особенно актуально при сложных формах нефролитиаза.

Трансуретральная контактная лазерная литотрипсия (ТКЛЛТ) относится к разряду высокотехнологических операций, характеризующихся довольно высокой стоимостью. Специализированные операционные помещения (ОП), в которых проводятся урологические операции, в том числе и лазерная литотрипсия, являются одними из самых дорогостоящих хирургических ресурсов в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ). В эпоху дорогостоящего медицинского обслуживания, эффективность здравоохранения возрастает в том случае, если в доступное время работы ОП будет проведено наибольшее количество операций [5, 6]. Поэтому актуальной задачей также является оптимальное планирование операций, при котором степень загрузки операционного помещения и высокотехнологического оборудования будет максимальной. Это позволит увеличить количество плановых операций и приведет к уменьшению очереди ожидающих операции, увеличить доход лечебно-профилактического учреждения. Для осуществления такого планирования требуется на основании диагноза больного и результатов предоперационного обследования спрогнозировать (оценить) время предстоящей операции и разработать мероприятия по его уменьшению.

В работе [7] была описана модель прогнозирования длительности операции лазерной контактной литотрипсии, разработанная авторами на основе расчетного времени «чистого» дробления камней и учета коэффициента дополнительных затрат времени Кдз на проведение необходимых технологических манипуляций, связанных с процессом дробления мочевых конкрементов. Оценка длительности дополнительного интервала времени выполнена на основе среднего значения коэффициента дополнительных затрат Кдз, определяемого экспериментальным путем. Однако на практике величина коэффициента дополнительных затрат может почти в два раза отличаться от его среднего значения. Кроме этого, в предложенной авторами модели не учитываются индивидуальные анатомические особенности мочевыделительной системы (МВС) больного, от которых зависит время лазерной литотрипсии. Это зачастую приводит к завышению прогнозируемого времени длительности литотрипсии по сравнению с реальной продолжительностью операции и снижению соответственно эффективности использования операционного помещения и специализированного высокотехнологического медицинского оборудования.

Целью исследования является разработка модели трансуретральной контактной лазерной литотрипсии, позволяющей при известном объеме мочевого камня и его физико-химических свойств, а также с учетом патологических особенностей МВС больного, оценить с более высокой, по сравнению с методом на основе коэффициента дополнительных затрат, степенью точности время предстоящей операции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным материалом для построения математической модели лазерной литотрипсии послужили результаты собственных измерений *in vivo общего времени* фрагментации мочевого конкремента, расчетное чистое время фрагментации с учетом дополнительных факторов, отображающих как физико-химические свойства мочевого камня, так и патологические особенности МВС оперируемого.

В исследовании приняло участие 117 больных с изолированными формами МКБ. Из них 69 (59%) женщин и 48 (41%) мужчин. Возраст пациентов колебался от 18 до 83 лет, средний возраст 50,4 лет. Всем пациентам выполнялась трансуретральная контактная гольмиевая литотрипсия. В предоперационном периоде все пациенты проходили компьютерную томографию (КТ) мочевыделительной системы. Камни располагались в чашечно-лоханочной системе (ЧЛС) и в различных отделах мочеточника (МТ). Объем камня и его средняя рентгенологическая плотность определялась на основании КТ-обследования и обработки результатов с помощью программы Inobitec DICOM Viewer Professional. Измерение временных интервалов отдельных этапов процесса дробления производилось путем анализа видеозаписи операции, выполненной эндовидеокамерой типа ENDOCAM® Performance HD, с помощью профессиональной программы редактирования и монтажа видео- и аудиопотоков Sony Vegas 16.0, установленной на персональном компьютере. Методика измерения временных интервалов детально описана в [7].

Доступ к камню осуществлялся по стандартной трансуретральной методике с помощью полуригидного или гибкого уретероскопа. Объем камней колебался от 0,065 до 4,98 $см^3$. Средняя рентгенологическая плотность составляла от 390 до 2400 *HU*. Дробление осуществлялось гольмиевым лазером отечественного производства серии Triple

с длиной волны лазерного излучения 2,1 мкм и диаметром оптического зонда 600, 400 и 270 мкм. Фрагментация камней выполнялась при энергиях импульсов от 0,8 до 2,5 Дж преимущественно при частоте импульсов 5–10 Гц. Литотрипсия проводилась до дисперсного состояния или мелких осколков диаметром до 1 мм. По показаниям прибегали к внутреннему стентированию почки. Интраоперационных осложнений не было. Пациенты выписывались на 1–3 сутки после операции.

Для построения моделей использовались методы математической статистики, дисперсионного и регрессионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общее время фрагментации состоит из «чистого» времени дробления конкремента и времени, затрачиваемого на вспомогательные операции (ревизия области дробления, извлечение осколков, промывание области дробления, перемещение оптического зонда для компенсации сдвига конкремента за счет ретропульсии).

Ожидаемое время «чистого» дробления камня, при заданных энергии и частоте импульсов гольмиевого литотриптера, можно вычислить на основе определенной по результатам КТ массы камня m по формуле, приведенной в статье [7]:

$$T\text{рч} = m /(\gamma \times F_i \times E_i), \quad (1)$$

где Tрч – чистое время разрушения камня в секундах (с); m – масса камня в миллиграммах; E_i – значение энергии импульса в джоулях (Дж); F_i – частота следования импульсов лазера с E_i энергией в герцах (Гц); γ – удельная величина потери массы камня при гольмиевой литотрипсии, равная 0,402 ± 0,11 мг/Дж.

К дополнительным факторам, влияющим на длительность вспомогательных манипуляций при дроблении камня в мочеточнике, относятся:

1) сложная анатомия для мочеточника, связанная с наличием S-образного перегиба и сужением просвета МТ;

2) соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника;

3) длительность стояния камня в мочеточнике и стриктура мочеточника;

4) «пыльность» камня.

Наличие S-образного перегиба и сужение просвета мочеточника затрудняет доступ к камню и увеличивает время промывания области операции. Соотношение размеров камня и диаметра мочеточника также оказывает влияние на продолжительность дополнительных затрат. Камень либо перекрывает просвет мочеточника и затрудняет промывание области дробления, либо перемещается в мочеточнике под воздействием ударных волн, что приводит к необходимости затрачивать время на установление непосредственного контакта оптического зонда с поверхность камня. Длительность стояния камня в мочеточнике и его поверхность (гладкая или шипастая) может влиять на наличие грануляций, отека, контактных кровотечений.

Под «пыльностью» камня подразумевается степень выброса микрочастиц конкремента под воздействием лазерных импульсов, которые приводят к образованию мутной субстанции в области литотрипсии и затрудняют видимость камня. К непыльным относятся твердые камни (оксалаты), к умеренно пыльным – (ураты), к сильно пыльным – (фосфаты).

Перечисленные факторы, способствующие увеличению длительности дополнительных затрат, не могут быть измерены количественно и поэтому относятся к качественным показателям. Учет этих факторов при создании модели прогнозирования длительности ТКЛЛТ способствует повышению точности прогнозирования.

Одним из перспективных путей повышения точности прогнозирования длительности трансуретральной контактной лазерной литотрипсии является использование многофакторных линейных регрессионных моделей [8, 9]. Многофакторную регрессионную линейную модель для оценки длительности ТКЛЛТ Tлт можно в общем виде представить следующим образом:

$$T\text{лт} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \cdots + \beta_i * X_i + \cdots + \beta_\text{n} * X_\text{n} + \varepsilon, \quad (2)$$

где β_i – коэффициенты регрессии; X_i – независимые переменные (факторы); ε – абсолютная случайная ошибка (погрешность прогнозирования).

Независимые факторы могут иметь как количественный, так и качественный характер. Так, время чистого дробления камня имеет количественный характер, а сложность анатомии мочеточника, пыльность камня, длительность его стояния в мочеточнике и некоторые другие носят качественный характер. Для учета влияния качественных показателей на результирующую переменную используют искусственные фиктивные переменные, которым присваивают количественные значения. Наиболее часто для оценки влияния качественных факторов на прогнозируемый параметр используют бинарные (0 или 1) либо (–1, 1) значения факторов.

При оценке коэффициентов многофакторной регрессии применяют метод наименьших квадратов (МНК), который минимизирует сумму квадратов отклонения экспериментальных данных от искомой кривой (в нашем случае ошибку прогнозирования). В математическом виде для оценки длительности контактной лазерной литотрипсии МНК можно представить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{K} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{K} (T_{лтф} - T_{лтож})^2 \to \min,$$

где ε_i – ошибка прогнозирования; $T_{лтф}$ – фактическое время литотрипсии, измеренное экспериментальным путем; $T_{лтож}$ – ожидаемое (прогнозируемое) время, вычисленное на основе регрессионной модели; K – количество данных измерений.

Аналитические выражения для вычисления коэффициентов регрессии приведены во многих литературных источниках [8]. В настоящее время существуют программные средства, в частности пакеты MS Excel, SPSS Statistics и др., позволяющие сравнительно просто получить значения коэффициентов множественной регрессии.

В связи с тем, что количество и тип факторов при дроблении камней в мочеточнике и чашечно-лоханочной системе различны, то и регрессионные модели прогноза длительности литотрипсии в этих частях МВС будут отличаться.

Модель прогнозирования длительности трансуретральной контактной лазерной литотрипсии гольмиевым лазером представим в виде многофакторной линейной регрессионной модели с учетом количественных и качественных факторов X_i на основании формулы (2) следующим образом:

$$T\text{лт-ож} = \beta_0 + \beta_1 * T\text{лтч} + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon, \quad (3)$$

где Tлт-ож – ожидаемое (прогнозируемое) время дробления камня в мочеточнике; Tлтч – расчетное время чистого времени дробления камня без учета дополнительных затрат (количественный фактор); X_2 – качественный фактор, учитывающий сложность анатомии мочеточника, определяемой при предоперационном обследовании на основании результатов УЗИ и КТ; X_3 – качественный фактор, учитывающий соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника; X_4 – качественный фактор, учитывающий длительность стояния камня в мочеточнике и структуру поверхности камня; X_5 – качественный фактор, учитывающий физико-химические свойства камня, сказывающиеся на его «пыльности».

Качественным факторам X_2–X_5, исходя из количества качественных признаков, присвоены фиктивные количественные двоичные значения: –1 и +1. В *таблице 1* приведены количественные значения качественных факторов.

В *таблице 2* представлены параметры данных трансуретральной контактной лазерной литотрипсии в различных частях мочеточника. Здесь Tлт-ф – фактическое значение длительности литотрипсии, определенное в результате обработки записей эндовидеокамеры с помощью программы Vegas 16.0; Tч-пр – чистое прогнозируемое время полной фрагментации камня, рассчитанное по формуле (1); Eотн – относительная ошибка прогнозирования.

По измеренным значениям фактического времени Tлт-ф выполнения литотрипсии в МТ и рассчитанного ожидаемого (прогнозируемого) времени

Таблица 1

Связь между качественными показателями и количественными значениями качественных факторов

Факторы	*–1*	*+1*
X_2 Сложность анатомии мочеточника	Отсутствие S-образного перегиба и сужений просвета	Наличие S-образного перегиба и сужений просвета
X_3 Соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника	Камень не блокирует просвет мочеточника	Камень полностью блокирует просвет
X_4 Длительное стояния камня в мочеточнике, приводящее к отеку, состояние поверхности камня	Стояние камня от 4 до 6 дней, поверхность гладкая	Стояние камня больше 4–6 дней и поверхность шипастая
X_5 Пыльность камня	«Непыльный», твердый (оксалатный)	«Пыльный» (уратный, фосфатный?)

Таблица 2

Параметры моделирования процедуры прогнозирования длительности лазерной литотрипсии в мочеточнике

Ф. И. О.	*Т*лт-ф	*Т*ч-пр	X_2	X_3	X_4	X_5	*Т*лт-ож	*Е*отн
А	4,1	0,32	1	1	1	-1	4,030064	0,017058
Б1	4,3	0,63	-1	-1	1	1	4,491501	-0,04454
Б2	18,5	3,1	-1	-1	-1	-1	13,92117	0,247504
Б3	6,4	0,8	-1	1	1	-1	6,34876	0,008006
В	27,3	4,3	-1	1	1	1	25,14661	0,078879
Д	1,5	0,26	1	-1	-1	-1	0,409702	0,726865
Е1	7,3	0,9	-1	1	1	-1	6,73663	0,077174
Е2	8,7	1,67	-1	1	1	-1	10,38851	-0,19408
Е3	3,38	0,64	-1	-1	1	-1	2,254128	0,333098
К1	5,34	1,49	-1	-1	1	-1	6,285423	-0,17705
К2	3,43	0,25	1	1	1	-1	3,611675	-0,05297
К3	24	3,1	-1	1	1	1	19,54177	0,18576
К4	4,1	0,53	-1	1	1	-1	4,981831	-0,21508
К5	13,03	4,05	-1	-1	-1	-1	18,42674	-0,41418
Р1	13,8	2	1	1	1	-1	11,9114	0,136855
Р2	10,2	1,8	-1	1	1	-1	11,00506	-0,07893
Р3	11,1	1,51	1	1	1	1	11,87228	-0,06957
С1	4,77	0,54	-1	1	1	-1	5,029258	-0,05435
С2	21,4	4,1	-1	1	1	1	24,19807	-0,13075
У	4,74	0,63	1	1	1	1	7,741901	-0,63331
Х	5,5	0,47	1	1	1	-1	4,698269	0,145769

разрушения мочевого конкремента *Т*лт-ож с помощью пакета «Анализ данных. Регрессия» системы Excel был выполнен расчет коэффициентов регрессии и параметров, характеризующих качество модели. Результаты вычислений приведены на *рис. 1*, представляющем собой скриншот экрана системы Excel.

Коэффициенты при количественном факторе *Т*лт-ч (X_1) и качественных факторах X_2–X_5 приведены в столбце «Коэффициенты» нижней таблицы скриншота. Y-пересечение представляет собой коэффициент β_0 уравнения (3). Таким образом, выражение для прогнозируемого времени продолжительности лазерной литотрипсии в мочеточнике принимает следующий вид:

$$T\text{лт-ож} = 2{,}008 + 4{,}7427*T\text{лт-ч} - 0{,}0211*X_2 + 1{,}6247*X_3 - 0{,}0432*X_4 + 1{,}1424*X_5. \quad (4)$$

Показателем качества регрессионной модели (4) является коэффициент детерминации R^2, который в данном случае равен 0,9046, что свидетельствует о достаточно высоком качестве модели и соответствия модели экспериментальным данным.

Рассчитанное по уравнению (4) ожидаемое время контактной лазерной литотрипсии приведено в *таблице 2* в столбце *Т*лт-ож, а в последнем столбце таблицы — значения относительных погрешностей прогнозирования *Е*отн. Средняя относительная погрешность прогнозирования равна 0,5%. Причем, прогнозирование дает завышенную оценку, что гарантирует то, что процедура литотрипсии не превысит прогнозируемое значение.

Как видно из выражения (4), коэффициенты регрессии при факторах X_2 и X_4 более, чем на порядок меньше остальных коэффициентов и могут быть опущены вследствие незначительного влияния на прогнозируемое время длительности литотрипсии.

Полученный в процессе вычислений коэффициент детерминации достаточно близок к единице (R^2 = 0,9046), что свидетельствует о высоком качестве модели. Таким образом, модель длительности литотрипсии в мочеточнике может быть

	A	B	C	D	E	F	G	H
25								
26		*Регрессионная статистика*						
27		Множественный R	0,951115006					
28		R-квадрат	0,904619755					
29		Нормированный R	0,872826339					
30		Стандартная ошиб	2,645008776					
31		Наблюдения	21					
32								
33		Дисперсионный анализ						
34			*df*	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*	
35		Регрессия	5	995,2979858	199,0595972	28,453054	3,78112E-07	
36		Остаток	15	104,9410713	6,996071423			
37		Итого	20	1100,239057				
38								
39			*Коэффициенты*	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*
40		Y-пересечение	2,008222742	1,783954533	1,125714084	0,2779761	-1,794186336	5,81063182
41		Переменная X 1	4,742730795	0,658936568	7,197552885	3,086E-06	3,338240747	6,14722084
42		Переменная X 2	-0,021158734	0,799367252	-0,026469354	0,9792319	-1,724969701	1,68265223
43		Переменная X 3	1,624673332	0,958472713	1,695064774	0,1107157	-0,418262896	3,66760956
44		Переменная X 4	-0,047228511	1,394289502	-0,033872815	0,9734252	-3,019086236	2,92462921
45		Переменная X 5	1,142375895	0,811450295	1,407819928	0,1795705	-0,587189466	2,87194126

Рис. 1. **Скриншот со значениями коэффициентов и параметров качества регрессии**

Таблица 3

Параметры упрощенной модели прогнозирования длительности лазерной литотрипсии в мочеточнике

Ф. И. О.	*Тлт-ф*	*Тчпр*	X_3	X_5	*Тлт-ож*	*ε*	*Еотн*
А	4,1	0,32	1	-1	3,955284	0,144716	0,035297
Б1	4,3	0,63	-1	1	4,487081	-0,18708	-0,04351
Б2	18,5	3,1	-1	-1	13,98487	4,51513	0,244061
Б3	6,4	0,8	1	-1	6,23946	0,16054	0,025084
В	27,3	4,3	1	1	25,15111	2,14889	0,078714
Д	1,5	0,26	-1	-1	0,470162	1,029838	0,686559
Е1	7,3	0,9	1	-1	6,71533	0,58467	0,080092
Е2	8,7	1,67	1	-1	10,379529	-1,67953	-0,19305
Е3	3,38	0,64	-1	-1	2,278468	1,101532	0,325897
К1	5,34	1,49	-1	-1	6,323363	-0,98336	-0,18415
К2	3,43	0,25	1	-1	3,622175	-0,19218	-0,05603
К3	24	3,1	1	1	19,44067	4,55933	0,189972
К4	4,1	0,53	1	-1	4,954611	-0,85461	-0,20844
К5	13,03	4,05	-1	-1	18,505635	-5,47564	-0,42023
Р1	13,8	2	1	-1	11,9499	1,8501	0,134065
Р2	10,2	1,8	1	-1	10,99816	-0,79816	-0,07825
Р3	11,1	1,51	1	1	11,874337	-0,77434	-0,06976
С1	4,77	0,54	1	-1	5,002198	-0,2322	-0,04868
С2	21,4	4,1	1	1	24,19937	-2,79937	-0,13081
У	4,74	0,63	1	1	7,686681	-2,94668	-0,62166
Х	5,5	0,47	1	-1	4,669089	0,830911	0,151075

представлена в упрощенном виде следующим образом:

$$T_{\text{лт-ож}} = 1{,}9608 + 4{,}7587*T_{\text{лтч}} + \\ + 1{,}5998*X_3 + 1{,}1281*X_5. \quad (5)$$

Для обоснования правомочности использования качественных факторов X_3, X_5 выполнена оценка степени взаимосвязи между этими качественными факторами на основе коэффициента ассоциации Юла [10]. Данные для расчета коэффициента Юла приведены в *таблице 4*.

Коэффициент Юла рассчитывается по формуле:

$$K_J = (ad - bc) / (ad + bc) = (25–10) / (25+10) = 0{,}428.$$

Оценивание степени связи между факторами осуществляется по шкале Чеддока [10]. На основании шкалы Чеддока можно сделать вывод, что связь между факторами X_3 «Соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника» и X_5 «Пыльность камня» малозаметная (умеренная), и эти факторы могут быть использованы для построения регрессионной модели оценки длительности контактной лазерной литотрипсии в мочеточнике *(табл. 5)*.

Из *таблицы 3* следует, что средняя относительная погрешность прогнозирования не превышает 0,5%, что свидетельствует о возможности использования упрощенной регрессионной модели контактной литотрипсии мочеточника.

Дробление мочевых камней в чашечно-лоханочной системе (ЧЛС) существенно отличается от дробления конкрементов, находящихся в мочеточниках. К особенностям контактной лазерной литотрипсии в ЧЛС относятся следующие факторы:

1) более сложный и продолжительный во времени доступ к камню;

2) возможность установки (выведение) оптического зонда зачастую только под определенным углом к поверхности камня;

3) объем ЧЛС часто значительно превышает объем камня, который мигрирует по ЧЛС, что может привести к дополнительным затратам времени на репозиционирование эндоскопа;

4) возникновение замутнения области литотрипсии в моменты воздействия на камень лазерных импульсов, причем степень замутнения зависит от «пыльности» камня.

Возможность установки зонда только под острым углом по отношению к поверхности камня приводит к тому, что не вся энергия лазерного импульса поглощается камнем, так как оптический луч частично «скользит» по поверхности камня. Это приводит к снижению удельной скорости расхода массы камня и дополнительной погрешности расчёта чистого времени дробления.

Если объем ЧЛС превышает объем камня, то под действием лазерных импульсов происходит отскок камня от конца световода, т.е. проявляется явление ретропульсии. В связи с этим требуются дополнительные затраты времени хирурга, чтобы выйти на камень и подвести к нему дистальный конец световода.

Замутнение, возникающее в момент воздействия лазерного излучения на камень и образования акустической ударной волны, связано с выбросом микрочастиц камня, вспенивающих окружающую его физиологическую жидкость, образуя непрозрачную эмульсию, которая скрывает камень.

Отмеченные факторы приводят к увеличению длительности дополнительных затрат при выполнении процедуры дробления мочевых конкрементов. Они не могут быть измерены количественно и поэтому относятся к качественным показателям.

Таблица 4

Количество встречаемости комбинации факторов

Значения фактора X_3	*Значения фактора X_5*		*Произведения*
	+1	*–1*	
+1	a = 5	b = 10	ad = 25 bc = 10
–1	c = 1	d = 5	

Таблица 5

Значения показателей степени связей Чеддока

Значение коэффициента	0,1–0,3	0, – 0,5	0,5–0.7	0,7–0.9	0,9–1,0
Характеристика зависимости	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая

Учет этих факторов при создании модели прогнозирования длительности ТКЛЛТ может существенно повысить точность прогнозирования длительности литотрипсии в ЧЛС.

Многофакторную регрессионную линейную модель для оценки ожидаемой длительности ТКЛЛТ Iлт-ож в области ЧЛС Tлт можно в общем виде представить следующим образом:

$$I\text{лт-ож} = \alpha_0 + \alpha_1 * I\text{л-тч} + \alpha_2 * Z_2 + \cdots + \alpha_i * Z_i + \cdots + \alpha_n * Z_n + \varepsilon, \quad (6)$$

где α_i – коэффициенты регрессии; Z_i – независимые переменные (факторы); ε – случайная абсолютная ошибка (погрешность прогнозирования).

Изменение символов для обозначения коэффициентов регрессии и дополнительных факторов введено для подчеркивания отличия модели прогнозирования длительности литотрипсии в ЧЛС от модели длительности литотрипсии в мочеточнике.

Общее время литотрипсии, по аналогии с литотрипсией в мочеточниках, зависит как от собственно «чистого» времени разрушения конкремента в области ЧЛС Iлт-ч, так и от времени дополнительных затрат. К дополнительным затратам при дроблении в ЧЛС относятся:

- ожидание до появления видимости в результате промывания области литотрипсии контуров камня и рабочей части оптического зонда;
- репозиционирование оптического зонда при перемещении камня за счет ретропульсии.

Время чистого дробления камня имеет количественный характер Iлт-ч, а возможность выведения оптического зонда на камень, соотношение объемов области ЧЛС и камня, «пыльность» конкремента и некоторые другие – качественный характер. Качественным параметрам, по аналогии с процессом получения оценки времени дробления конкрементов в мочеточнике, присваиваются бинарные количественные значения факторов (–1, 1).

Z_2 – качественный фактор, учитывающий сложность анатомии мочеточника, определяемой при предоперационном обследовании на основании результатов УЗИ и КТ; Z_3 – качественный фактор, учитывающий соотношение размера конкремента и объема ЧЛС (лоханки, чашечки); Z_4 – качественный фактор, учитывающий физико-химические свойства камня, сказывающиеся на его «пыльности».

По измеренным значениям фактического времени выполнения литотрипсии в ЧЛС Iлт-ож и рассчитанного ожидаемого (прогнозируемого) чистого времени разрушения мочевого конкремента Iлт-ч с помощью пакета «Анализ данных. Регрессия» системы Excel был выполнен расчет коэффициентов регрессии и параметров, характеризующих качество модели.

Коэффициент детерминации, полученный на основе вычислений в системе Excel, достаточно большой (R^2 = 0,831), а остатки распределены симметрично, что свидетельствует о высоком качестве модели. Таким образом, прогнозируемое время выполнения трансуретральной контактной гольмиевой литотрипсии в ЧЛС может быть оценено по формуле:

$$I\text{лт-ож} = 6.7371 + 2{,}2448 * I\text{лт-ч} - 1{,}355 * Z_2 + 2{,}0653 * Z_3 + 1{,}3168 * Z_n + \varepsilon. \quad (7)$$

Рассчитанные на основании выражений (5) и (7) показали, что выигрыш в планируемом использовании операционного помещения и высокотехнологического оборудования, представляющего собой разность между максимальным (пессимистическим прогнозом) временем, оцениваемым экспертами, и прогнозируемым максимальным временем, рассчитанным на основе предложенной модели, составляет в среднем 21,5 ± 2,7 мин. (37%) при дроблении конкрементов в области мочеточников и 51 ± 6,2 мин. (53,4%) при дроблении в чашечно-лоханочной системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных исследований установлено, что длительность трансуретральной контактной гольмиевой литотрипсии можно оценить до начала операции с помощью уравнений многофакторной линейной регрессии. В качестве факторов используется время собственно дробления мочевого конкремента, рассчитанное по полученным в результате компьютерной томографии объеме и рентгенологической плотности камня, сложность анатомии мочеточника, соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника или объема ЧЛС (лоханки, чашечки), длительность стояния камня в МТ и «пыльность» камня.

Экспериментально установлено, что выигрыш в планируемом использовании операционного помещения и высокотехнологического оборудования, представляющего собой разность между максимальным (пессимистическим прогнозом) временем, оцениваемым экспертами и прогнозируемым максимальным временем, рассчитанным на основе предложенной модели составляет в среднем 21,5 ± 2,7 мин. (37%) при дроблении конкрементов в области мочеточников и 51 ± 6,2 мин. (53,4%) при дроблении в чашечно-лоханочной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мартов А.Г., Гордиенко А.Ю., Ергаков Д.В. и др.* Гольмиевая контактная литотрипсия в трансуретральном лечении крупных камней верхней трети мочеточника // Астраханский медицинский журнал. – 2011. – № 2. – Т. 6. – С. 185–190.
2. *Гудков А.В., Бощенко В.С., В.Я. Афонин, Лозовский М.С.* Зависимость эффективности и безопасности ретроградной контактной электроимпульсной уретеролитотрипсии от расположения и размеров конкремента // Экспериментальная и клиническая урология. – 2013. – № 3. – С. 100–106.
3. *Leijte J.A., Oddens J.R., Lock T.M.* Holmium laser lithotripsy for ureteral calculi: predictive factors for complications and success. J. Endourol. 2008 Feb; 22(2): P. 257–60. doi: 10.1089/end.2007.0299.
4. *Song Fan, Binbin Gong, Zongyao Hao et al.* Risk factors of infectious complications following flexible ureteroscope with a holmium laser: a retrospective study. Int J Clin Exp Med. 2015; 8(7): 11252–11259.
5. *Kayis E., Wang H., Patel M., Gonzalez T., Jain S., Ramamurthi R.J., Santos C., Singhal S., Suermondt J., Sylvester K.* Improving Prediction of Surgery Duration using Operational and Temporal Factors. AMIA Annu Symp Proc. 2012; 2012:456–462. Epub. 2012. Nov. 3. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3540440/pdf/ amia_2012_symp_0456.pdf]
6. *Stepaniak, P.S., Heij C., De Vries G.*: Modeling and prediction of surgical procedure times. Statistica Neerlandica 64(1), 1–18 (2010).
7. *Чернега В.С., Еременко А.Н., Еременко С.Н., Тлуховская-Степаненко Н.П.* Прогнозирование времени длительности гольмиевой литотрипсии в лечении уролитиаза // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 2. – С. 72–80.
8. *Мисюк Н.С.* Корреляционно-регрессионный анализ в клинической медицине / Н.С. Мисюк, А.С. Мастыкин, Г.П. Кузнецов. М.: Медицина, 1975. – 200 с.
9. *Реброва О.Ю.* Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2003. – 305 с.
10. *Медик В.А., Токмачев М.С., Фишман Б.Ю.* Статистика в медицине и биологии. Руководство. В 2-х томах / под ред. Ю.М. Комарова. Т. 1. Теоретическая статистика. М.: Медицина, 2000. – 412 с.

Новости отрасли

МИНЗДРАВ ПЛАНИРУЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ФЕДЕРАЛЬНУЮ ИЭМК ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Министерство здравоохранения РФ предложило использовать обезличенные медицинские данные пациентов из Федеральной интегрированной электронной медицинской карты Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) для обучения программ на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ). В настоящее время в системе формируются базы данных обезличенной информации только по отдельным нозологиям и профилям – для изучения течения и исхода заболеваний, клинической и экономической эффективности методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации.

Ведомство предлагает добавить к действующим положениям хранение, поддержку разметки и подготовки наборов обезличенных медицинских данных для формирования систем поддержки принятия врачебных решений, создания и применения технологических решений на основе ИИ.

Кроме того, в ЕГИСЗ предполагается внедрить поддержку разработки технологических решений на основе ИИ, их хранение, функционирование, верификацию и обеспечить к ним доступ медицинских организаций.

Правки предусматривают создание в ЕГИСЗ подсистемы модернизации первичного звена для мониторинга и контроля за реализацией профильных региональных программ, стартующих с начала 2021 года.

Подробнее: *https://vademec.ru/news/2020/11/13/minzdrav-razreshit-ispolzovat-meditsinskie-dannye-patsientov-iz-egisz-dlya-obucheniya-ii/*

Б.А. КОБРИНСКИЙ,
д.м.н., профессор, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия, e-mail: kba_05@mail.com, ORCID 0000-0002-3459-8851
Д.Д. ДОЛОТОВА,
к.м.н., Гаммамед-Софт, ООО, г. Москва, Россия, e-mail: dariadolotova@gmail.com, ORCID0000-0002-5538-1109
В.В. ДОНИТОВА,
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия, e-mail: v.donitova@gmail.com, ORCID 0000-0001-9022-3539
А.В. ГАВРИЛОВ,
к.т.н., Гаммамед-Софт, ООО, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, e-mail: agavrilov49@gmail.com, ORCID 0000-0002-7838-584X

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПОСТРОЕНИИ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

УДК: 004.89:004.932.2:615.849: 616.831-005 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-43-50*

Кобринский Б.А., Долотова Д.Д., Донитова В.В., Гаврилов А.В. ***Радиологические изображения в создании гибридных интеллектуальных систем*** *(Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия; Гаммамед-Софт, ООО, г. Москва, Россия; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия)*

Аннотация. До сих пор концепция образных рядов или кортежей изображений в развитии интеллектуальных систем обсуждалась в связи с ролью фенотипических (внешних) проявлений болезней в диагностике. Настоящее исследование представляет идею нейровизуализационных кортежей как инструмента для прогнозирования течения хронической ишемии головного мозга. Феномен лейкоареоза анализируется как радиологический признак хронической ишемии головного мозга и предиктор инсульта. Кортежи изображений сформированы по результатам нативной компьютерной томографии, компьютерной томографической ангиографии, магнитно-резонансной томографии 85 пациентов с хронической ишемией мозга. Изображения нативной компьютерной томографии обрабатывались методами адаптивной фильтрации. Результаты компьютерной томографической ангиографии обрабатывались с помощью фильтра сосудистости, который позволяет создавать 3D-реконструкции сосудистой сети в зонах лейкоареоза. В статье обсуждается проблема нечетких изображений, принципы сравнительного анализа изображений и возможность использования доверительных факторов в кортежах изображений. Была разработана схема гибридной интеллектуальной системы, объединяющей традиционные логико-лингвистические правила и изображения на основе первичной информации и реконструкции исходных изображений DICOM в базе знаний. Область применения результатов – прогнозирование риска инсульта с использованием интеллектуальной системы.

Ключевые слова: *кортежи радиологических изображений, хроническая ишемия головного мозга, заболевание мелких сосудов головного мозга, лейкоареоз, сосудистость, когнитивная графика, гибридная интеллектуальная система.*

UDC: 004.89:004.932.2:615.849: 616.831–005

Kobrinskii B.A., Dolotova D.D., Donitova V.V., Gavrilov A.V. ***Radiological Images in the Construction of Hybrid Intelligent System*** *(Federal Research Center "Computer Science and Control", Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Gammamed-Soft, Ltd, Moscow, Russia; Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)*

Abstract. So far, the concept of image row or tuples in the development of intelligent systems has been discussed in relation to the role of phenotypic (external) manifestations of diseases in diagnostics. This study introduces the idea of neuroimaging tuples as a tool to make a prognosis of the course of chronic cerebral ischemia. The phenomenon of leukoaraiosis is analyzed as a radiological feature of chronic brain ischemia and a predictor of stroke. Image tuples are formed from the results of computed tomography, computed tomography angiography, magnetic resonance imaging, of 85 patients with chronic cerebral ischemia. Native computed tomography images were processed with adaptive filtering methods. Computed tomography angiography results were processed through a vesselness filter that allows development of 3D reconstructions of vasculature in leukoaraiosis areas. The problem of fuzzy images, the principles of comparative analysis of images and the possibility of using confidence factors in the image tuples are discussed in the article. A scheme of a hybrid intelligent system that combines traditional logic-linguistic rules and images based on primary information and reconstruction of the original DICOM images in the knowledge base was developed. The sphere of the application is stroke risk prediction using an intelligent system.

Keywords: *image radiological tuples, chronic cerebral ischemia, cerebral small vessel disease, leukoaraiosis, vesselness, cognitive graphics, hybrid intelligent system.*

© Б.А. Кобринский, Д.Д. Долотова, В.В. Донитова, А.В. Гаврилов, 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Визуальные медицинские образы целостны, и при вербализации может теряться часть смыслового содержания. Подобно лингвистическим понятиям, они представляют собой символы, характеризующие клиническую картину болезней. Разнообразие (многовариантность) образов, характеризующих заболевание, определяется стадией и течением патологического процесса, а также индивидуальными особенностями организма, в том числе характерными для разных этнических групп. Эти фенотипические характеристики заболевания образуют ряды (кортежи) изображений [1]. Объекты этих кортежей демонстрируют варианты проявления болезней, их сходство и различия, в том числе соответствующие разным фазам заболевания. Анализ кортежей изображений может использоваться в качестве вспомогательного инструмента для диагностических и прогностических решений. Они могут демонстрировать как изменения внешнего вида пациентов, так и данные нейровизуализации, включая их трехмерную реконструкцию. Возможно формирование последовательности изображений ряда индивидов, характерных для одной патологии, или изображения одного пациента в процессе развития патологического процесса.

Хронические цереброваскулярные заболевания развиваются, как правило, постепенно. Пациентов с идентифицируемыми факторами риска, которые впоследствии объясняют до 60% ишемического инсульта, можно наблюдать в течение многих лет [2]. Однако до недавнего времени не было объективных клинических оценок патологических изменений ткани мозга [3] в период до возникновения острого нарушения мозгового кровообращения. Современные методы позволяют обнаружить немые изменения (без клинических проявлений) в структуре головного мозга. Большое внимание уделяется такому нейровизуализационному признаку и предиктору инсульта как лейкоареоз (ЛА) [4, 5, 6]. Данный биомаркер является одним из основных проявлений болезни мелких сосудов (микроангиопатии), характеризующейся изменениями белого вещества мозга, которые обнаруживаются при хронической ишемии головного мозга и проявляются снижением когнитивных функций [7]. При инсульте ЛА является прогностическим фактором его течения [8].

Первичный метод оценки областей ЛА – магнитно-резонансная томография (МРТ), где эти области четко видны в режимах T2, DWI и T2 FLAIR. Однако ЛА часто обнаруживают на изображениях, полученных с помощью компьютерной томографии (КТ). Это объясняется тем, что КТ является методом первой линии для пациентов с инсультом вследствие ее широкой доступности.

В клинической практике осуществляется комплексный анализ радиологических изображений с клиническим контекстом. Однако это не нашло должного места в существующих системах поддержки принятия решений при хронической ишемии головного мозга. В то время как анализ кортежей изображений может представлять значительный научный и практический интерес при изучении нейровизуализационных предикторов и течения хронической ишемии головного мозга.

Целью данной работы было продемонстрировать возможности использования образных рядов на основе радиологических изображений, в том числе в динамике ишемии мозга. В связи с этим основная идея работы заключалась в разработке гибридной интеллектуальной системы, включающей традиционные лингвистические и графические представления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Материал

В исследовании использованы данные 85 пациентов (средний возраст 63 ± 7 лет, из них 45 мужчин и 40 женщин), госпитализированных с церебральными сосудистыми нарушениями в НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского в 2019 году.

Каждому пациенту при поступлении были выполнены рентгенологические исследования: нативная КТ, КТ-ангиография (КТА) и МРТ в режимах T1, T2, T2 FLAIR, DWI. На КТ у 60 из 85 пациентов (70,6%) были обнаружены признаки лейкоареоза различной степени тяжести, впоследствии подтвержденные на МРТ, которая использовалась в качестве эталона.

2.2. Метод адаптивной фильтрации

Обработка нативных КТ-изображений выполнялась с использованием алгоритма анизотропной фильтрации [9], который обеспечивает равномерное снижение шума во всех областях изображения при сохранении границ малоконтрастных областей. Использование адаптивной фильтрации позволяет лучше визуализировать область лейкоареоза и более точно отличать ее границы от окружающего белого вещества.

В ходе данной работы впервые была проведена оценка возможности использования алгоритма анизотропной фильтрации при выявлении участков лейкоареоза на КТ. Для этого были осуществлены: 1) независимая оценка нативных КТ двумя радиологами на предмет наличия ЛА; 2) фильтрация исходного массива изображений с использованием алгоритма анизотропной фильтрации; 3) повторная оценка КТ на наличие ЛА с интервалом в несколько дней, но уже с визуализацией результатов применения фильтра. Для оценки эффективности результатов фильтра были рассчитаны следующие параметры: точность, чувствительность, специфичность, прогностическая ценность положительного и отрицательного результатов, а также их доверительные интервалы [10]). Все расчеты производились в пакете RStudio. Данные МРТ использовались только для подтверждения наличия лейкоареоза.

2.3. Метод оценки сосудов

Для обработки изображений КТА был использован математический метод оценки сосудистости, позволяющий визуализировать сосудистое дерево в зоне лейкоареоза и количественно оценить состояние коллатералей. Метод основан на вероятностной оценке принадлежности каждого воксела к трубочкоподобным образованиям [11, 12]. Для артерий, реконструированных с помощью такого фильтра, можно оценить общий объем, вариацию диаметра и длины в интересующей области, а также особенности их распределения в пространстве. Использование фильтра при оценке острой ишемии показало высокую диагностическую и практическую ценность [13, 14]. Однако исследования по оценке сосудистости у пациентов с лейкоареозом в настоящее время в литературе не представлены. Пример оценки сосудистости в области ЛА показан на *рис. 1.*

2.4. Методика построения кортежей изображений

Сходные, но характеризующиеся отличиями, проявления патологии на изображениях, соответствующих одному понятию, можно рассматривать как образный ряд или кортеж [1]. Фактически, это квазиконтинуум, характеризующийся нечеткими переходами между визуальными проявлениями объектов одного ряда. Классический вариант изображения в каждом ряде – это архетип, а элементы кортежа демонстрируют вариации гетерогенных патологических проявлений данной болезни. Динамические образные ряды характеризуются также трансформацией объекта во времени. Особенно это характерно для заболеваний с прогрессирующим течением, к которым относится хроническая ишемия мозга.

Нечеткие ряды DICOM изображений, полученные с помощью КТ, КТА и МРТ в различных режимах, могут быть сформированы на основе изображений разных пациентов или изменяющихся во времени изображений у одного больного. Лейкоареоз

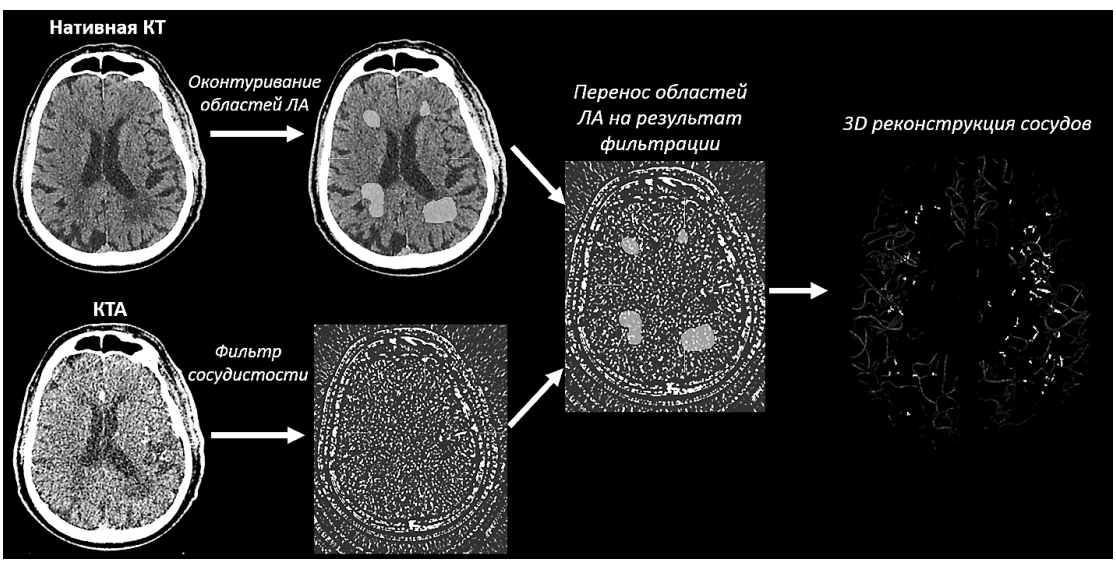


Рис. 1. **Пример применения фильтра сосудистости и трехмерной реконструкции сосудистого дерева в области лейкоареоза**

обнаруживается в виде мультифокальных или диффузных перивентрикулярных поражений белого вещества различных размеров. Наряду с нативными радиологическими изображениями, для построения образных рядов лейкоареоза использовались реконструированные 3D-изображения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Хроническая ишемия головного мозга как область применения концепции образных рядов на основе нейровизуализации рассматривается впервые. Выбор такого явления, как лейкоареоз, в первую очередь определяется его ролью как предиктора инсульта.

Количественно оценить степень выраженности лейкоареоза на диффузно-взвешенных изображениях (ДВИ) МРТ можно с помощью коэффициента диффузии, значения которого значительно ниже для неповрежденного белого вещества по сравнению с областями лейкоареоза. T2-FLAIR-взвешенные изображения обеспечивают наилучшую модальность для различения области ЛА [15, 16]. На нативных КТ-изображениях области лейкоареоза выглядят как участки низкой плотности без четких границ, при этом визуализируются только самые крупные очаги *(рис. 2)*.

Оценка эффективности адаптивного фильтра показала, что демонстрация врачу результатов фильтрации в дополнение к исходной нативной КТ *(рис. 3)* значительно увеличивает частоту обнаружения участков ЛА: чувствительность увеличилась с 65% до 78,3% *(таблица 1)*.

Поскольку гемодинамические нарушения и ухудшение перфузии считаются основными причинами развития лейкоареоза, представляется разумным включить данные КТА в ряд изображений ЛА. Однако, так как исходные изображения КТА позволяют видеть только хорошо контрастирующиеся области крупных артерий, использование сосудистого фильтра позволило визуализировать более дистальные фрагменты сосудов меньшего калибра. Объединение отфильтрованных изображений КТА с нативными КТ и анатомическими шаблонами через пространство нормализованного мозга MNI-152 [15] обеспечивает идентификацию областей лейкоареоза.

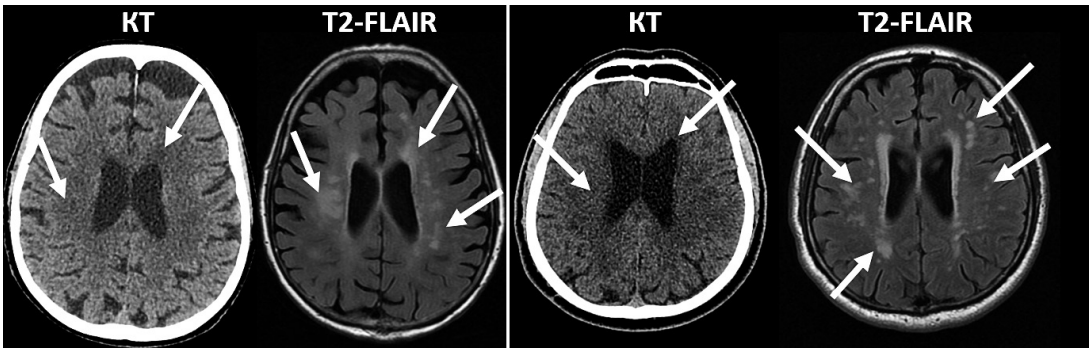


Рис. 2. **Кортежи изображений (образные ряды) областей лейкоареоза на КТ и МРТ в режиме T2-FLAIR (белые стрелки указывают на области ЛА)**

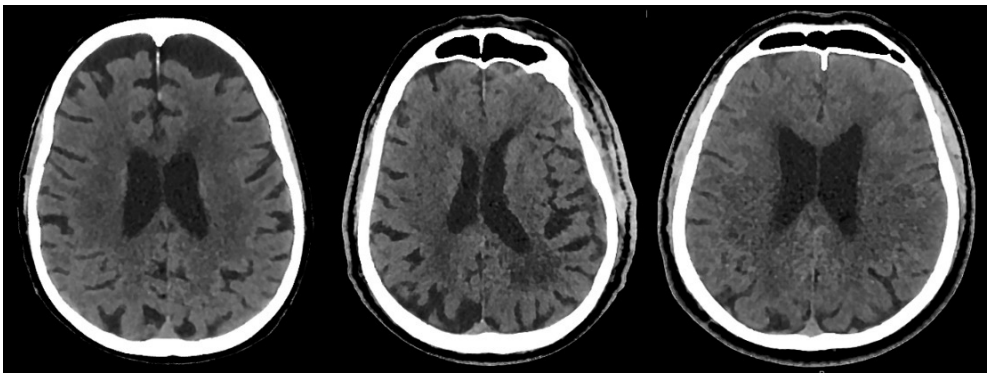


Рис. 3. **Отфильтрованные изображения компьютерной томографии как часть образного ряда лейкоареоза**

Таблица 1

Точностные характеристики оценки ЛА на данных КТ и с использованием фильтра (CI – доверительный интервал)

	Оценка ЛА на нативной КТ	*Оценка ЛА с использованием фильтра*
Чувствительность, %	65.0 (95% CI 54.6, 76.9)	78,3 (95% CI 65.8, 87.9)
Специфичность, %	92.0 (95% CI 74.0, 99.0)	96.0 (95% CI 79.7, 99.9)
Прогностическая ценность положительного результата, %	95.1 (95% CI 83.4, 98.7)	97.9 (95% CI 87.3, 99.7)
Прогностическая ценность отрицательного результата, %	52.3 (95% CI 43.2, 61.2)	64.9 (95% CI 53.1, 75.0)
Точность, %	72.9 (95% CI 62.2; 82)	83.5 (95% CI 73.9, 90.7)

Трехмерная визуализация этих сосудов с помощью реконструкции объемного рендеринга позволила создать интуитивно понятную иллюстрацию артериального дерева с мелкими сосудами в областях ЛА *(рис. 4)* и таким образом добавить еще один важный компонент в образный ряд лейкоареоза.

Сравнение сосудистости в областях лейкоареоза на разных стадиях его развития с неповрежденным белым веществом может улучшить диагностику этого полиморфного признака. Представленный результат показывает перспективы данного направления.

Таким образом, радиологические изображения и результаты их обработки могут быть неотъемлемой частью образных рядов в базе знаний гибридной интеллектуальной системы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нейровизуализация традиционно дополняет данные клинического обследования пациентов с церебральными заболеваниями. Однако до недавнего времени радиологические исследования не предоставляли необходимых визуальных данных, которые можно было бы включить в интеллектуальные системы прогнозирования в качестве предикторов инсульта. В настоящее время большое внимание уделяется проблеме лейкоареоза, наблюдаемого на КТ и МРТ, который вызван повреждением мелких артерий и артериол, приводящим к изменениям белого вещества головного мозга.

Ряд исследований показал неплохие возможности КТ для оценки лейкоареоза [16, 17]. Для его характеристики был предложен метод автоматического количественного определения микроангиопатического белого вещества [18]. Общепринятым инструментом для описания степени лейкоареоза на МРТ является шкала Фазекаса [27], которая фактически является лингвистической шкалой с соответствующими числовыми значениями. Объем поражения белого вещества на основе МРТ и визуальная оценка Фазекаса были признаны золотым

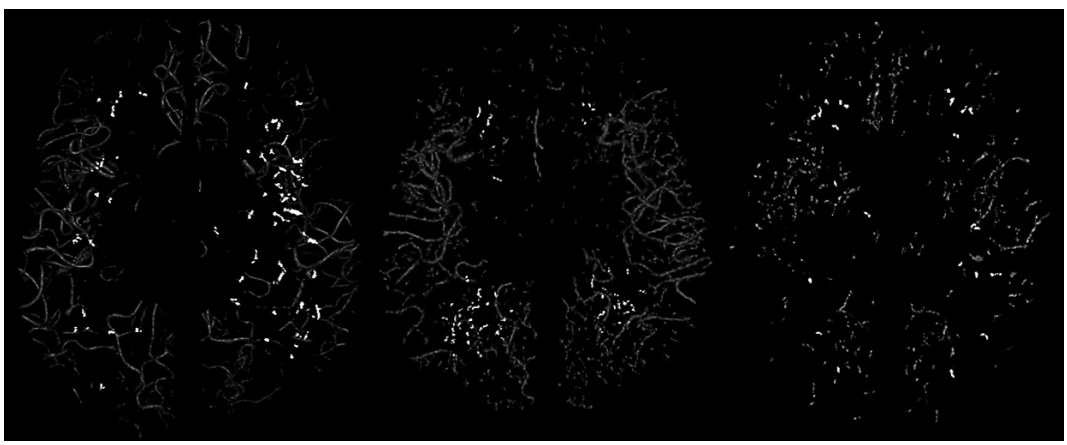


Рис. 4. **Трехмерная реконструкция сосудистого дерева (серым выделены сосуды магистральных артерий головы, а белым – небольшие ветки, находящиеся непосредственно в областях лейкоареоза)**

стандартом. Авторы использовали вероятностный алгоритм сегментации мозга для изображений КТ в целях определения плотности ткани в пространстве белого вещества. Все плотности вокселей были количественно определены в пространстве белого вещества и взвешены в соответствии с частичным вероятностным содержанием белого вещества. По шкале Фазекаса 0 соответствует отсутствию очагов ЛА, а 3 – наличию крупных очагов дренажа. Соответственно, в образном ряде можно представить различную степень выраженности очагов ЛА.

Лейкоареоз приобрел особое значение в связи с постоянным старением населения, при котором наиболее частым и опасным последствием хронической ишемии мозга является инсульт. В течение долгого времени обнаружение лейкоареоза считалось случайным открытием без терапевтических последствий, но теперь появляется все больше доказательств того, что это приводит к ухудшению когнитивных функций и повышенному риску инсульта [7, 20].

Метод фильтрации изображений позволяет ставить и решать задачи об объеме поражений белого вещества и количестве мелких сосудов в определенных зонах головного мозга [14]. Это дает возможность визуального сравнения лейкоареоза на разных этапах развития хронической ишемии головного мозга. Кроме того, это может служить основой для количественной оценки роли лейкоареоза как предиктора инсульта. Для этого важно выбрать метрику, сохраняющую как визуальное, так и семантическое сходство.

Независимое международное сотрудничество «Инициатива стандартизации биомаркеров изображений (IBSI)» работает над стандартизацией извлечения визуальных биомаркеров с целью высокопроизводительного количественного анализа изображений (радиомика) [21]. Дальнейшее развитие сравнительного анализа радиологических изображений возможно с использованием упорядоченных нечетких рядов [22]. В этом случае граничные линии для нечетких понятий могут способствовать определению условного «расстояния» близости нового изображения к одному из кортежей изображений в базе знаний. Кроме того, метод субъективного масштабирования может использоваться для сравнения нового объекта с элементами образного ряда путем оценки степени сходства изображений по категориальной шкале. Объективные знания в виде попарных мер близости визуальных объектов представляют собой «семантическое пространство» предметной области [23]. Возможно комбинировать подход, учитывающий экспертные оценки меры доверия (факторы уверенности) для изображений, предложенные ранее для оценки меры доверия к лингвистическим характеристикам [24]. Эти количественные характеристики можно использовать как «метрику» подобия объектов в нечетком ряде изображений [22]. Архетипическое изображение в каждом кортеже будет иметь оценку 1,0, а другие представители ряда, в зависимости от уровня сходства с архетипом, могут иметь оценки в диапазоне от 0,1 до 0,9. Последующее сравнение неизвестного визуального объекта с известными будет осуществляться с использованием выбранной метрики.

Традиционные лингво-логические интеллектуальные системы не обеспечивают однозначного сравнения с описанием в вербальной форме некоторых визуальных характеристик болезни, которые трудно охарактеризовать. Развитие методов искусственного интеллекта позволяет сделать вывод о возможности интеграции в базе знаний вербализованных данных и визуальных обследований, а также результатов их представления в 3D форме. Это обеспечит переход к построению диагностических и прогностических интеллектуальных систем в области цереброваскулярных нарушений на основе логико-лингво-образных представлений.

Схема построения гибридной интеллектуальной системы, включающей лингвистические знания и визуальные образы, показана на *рис. 5*. Она характеризуется необходимостью отображения нейровизуальных радиологических рядов и полученных с помощью вычислительных методов трехмерных изображений для оценки гемодинамических параметров (сосудистости). Соответственно, база знаний должна включать логически связанные и взаимодействующие лингвистический и визуальный блоки. В такой конфигурации пояснительный блок для пользователя должен обеспечивать отображение различных визуальных образов (растровых и графических). Исходные радиологические изображения будут обрабатываться для оценки сосудистости с помощью вычислительно-аналитического блока в рабочей области системы.

Необходимо отметить, что для анализа изображений в нейрорадиологии используются также искусственные нейронные сети, в частности глубокого обучения [25, 26], однако эта технология не обеспечивает интерпретацию выдвигаемых гипотез. В то время как архитектура представленной

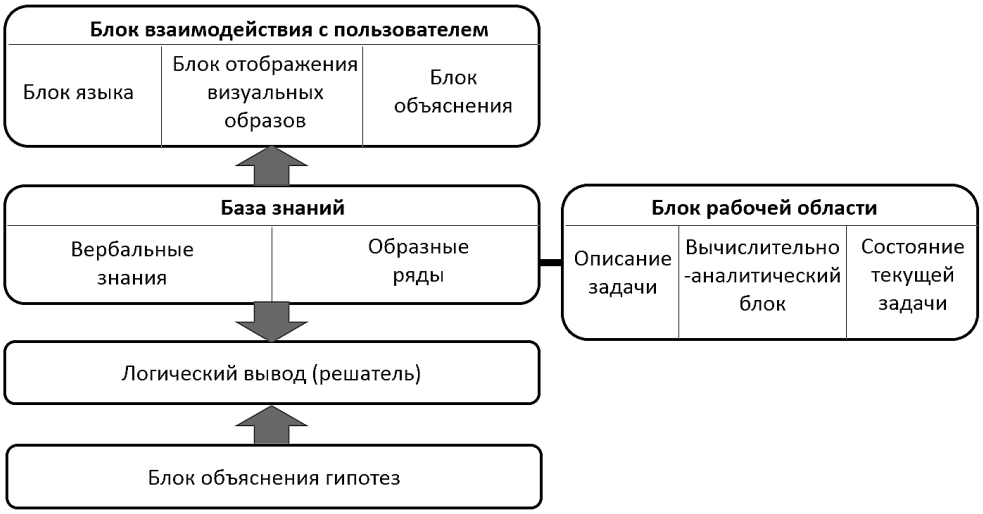


Рис. 5. **Архитектура гибридной логико-лингво-образной системы**

гибридной системы предполагает наличие блока объяснения решений.

Поиск сходства и выдвижение гипотез в гибридной логико-лингво-образной системе будет осуществляться при сходстве фенотипических признаков, сопровождаемых кортежами изображений или данными нейровизуализации с лингвистическим контекстом.

Принцип работы интеллектуальной гибридной системы заключается в активном человеко-машинном процессе на каждом этапе выдвижения гипотез. Отзыв пользователя о наличии или отсутствии сходства будет стимулом для дальнейшего подтверждения или отклонения гипотезы в такой партнерской системе. Это основано на том, что логико-аргументированный мыслительный процесс включает знаки и образы. Следует отметить, что аргументация должна предполагать чередующийся порядок включения языковых понятий и образов. Образы, как и лингвистические концепции, будут служить аргументами «за» и «против» определенных гипотез.

ВЫВОДЫ

Полиморфизм проявлений лейкоареоза, как предиктора инсульта, его постепенное развитие без четкой дифференциации стадий может быть отражено в кортежах изображений (образных рядах) на основе комплексного анализа рентгенологических изображений, включая нативные КТ/КТА/МРТ и обработанные с использованием математических фильтров.

Решение проблемы выявления и определения стадии патологии мелких сосудов не только на МРТ-изображениях, которые являются «золотым стандартом» в диагностике лейкоареоза, но и с помощью более распространенных методов, таких как КТ и КТА, позволяет значительно повысить скорость выявления ранних субклинических форм хронической ишемии головного мозга.

Более четкая визуализация лейкоареоза с помощью анализа сосудистости (количества и характера мелких сосудов) повысит эффективность его прогностической ценности.

Создание системы искусственного интеллекта для поддержки решений в области хронической ишемии головного мозга должна быть направлена на создание базы знаний, сочетающей традиционные знания лингвистического типа с рядами исходных изображений и сосудистой сети, подвергнутой 3D-реконструкции, в частности в зонах лейкоареоза.

Интеграция кортежей радиологических изображений с клиническими данными (предикторы инсульта, нарушение когнитивной функции, показатели общей гемодинамики, лабораторные данные) является основой для построения гибридной интеллектуальной логико-лингво-образной системы для диагностики и прогнозирования развития хронической церебральной ишемии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-26007 от 20.11.2018/19.

Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщать.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кобринский Б.А.* Значение визуальных образных представлений для медицинских интеллектуальных систем. // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – С. 3–8.
2. *Donnan G.A., Fisher M., Macleod M., Davis S.M.* Stroke. The Lancet. 2008 May 10: P. 1612–1623.
3. *Valdés Hernández M.C., Maconick L., Mucoz Maniega S., Wang X., Wiseman S., Armitage P. et al.* A comparison of location of acute symptomatic vs. 'silent' small vessel lesions. Int J Stroke. 2015 Oct: p. 1044–1050.
4. *de Leeuw F.E., de Groot J.C., Achten E., Oudkerk M., Ramos L.M., Heijboer R. et al.* Prevalence of cerebral white matter lesions in elderly people: a population based magnetic resonance imaging study. The Rotterdam Scan Study. Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry. 2001. – P. 9–14.
5. *O'Sullivan M.* Leukoaraiosis. Practical neurology. 2008. – P. 26–38.
6. *Grueter B.E., Schulz U.G.* Age-related cerebral white matter disease (leukoaraiosis): a review. Postgraduate medical journal. 2012. – P. 79–87.
7. *Li Q., Yang Y., Reis C., Tao T., Li X., Zhang J.* Cerebral Small Vessel Disease. Cell Transplant. 2018 Dec. – P. 1711–1722.
8. *Amarenco P., Lavallée P.C., Monteiro Tavares L., Labreuche J., Albers G.W., Abboud H. et al.* Five-Year Risk of Stroke after TIA or Minor Ischemic Stroke. N Engl J Med. 2018 June 7: p. 2182–2190.
9. *Usanov M., Kulberg N., Morozov S.* Development of anisotropic nonlinear noise-reduction algorithm for computed tomography data with context dynamic threshold. Computer Research and Modeling. 2019. – P. 233–248.
10. *Mercaldo N.D., Lau K.F., Zhou X.H.* Confidence intervals for predictive values with an emphasis to case-control studies. Stat Med. 2007 May 10.
11. *Frangi A.F., Niessen W.J., Vincken K.L., Viergever M.A.* Multiscale vessel enhancement filtering. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. 1998. – P. 130–137.
12. *Jerman T., Pernus F., Likar, Spiclin Z.* Enhancement of Vascular Structures in 3D and 2D Angiographic Images. IEEE Trans Med Imaging. 2016 Sep. – P. 2107–2118.
13. *Boers A.M.M., Sales Barros R., Jansen I.G.H., Berkhemer O.A., Beenen L.F.M., Menon B.K. et al.* Value of Quantitative Collateral Scoring on CT Angiography in Patients with Acute Ischemic Stroke. American Journal of Neuroradiology. 2018 June. – P. 1074–1082.
14. *Dolotova D., Arkhipov I., Blagosklonova E., Donitova V., Barmina T., Sharifullin F. et al.* Application of Radiomics in Vesselness Analysis of CT Angiography Images of Stroke Patients. Stud Health Technol Inform. 2020 June 16. – P. 33–37.
15. *Brett M., Johnsrude I.S., Owen A.M.* The problem of functional localization in the human brain. Nat Rev Neurosci. 2002 Mar: p. 243–249.
16. *Pantoni L., Simoni M., Pracucci G., Schmidt R., Barkhof F., Inzitari D.* Visual rating scales for age-related white matter changes (leukoaraiosis): can the heterogeneity be reduced? Stroke. 2002 Dec. – P. 2827–2833.
17. *Ben-Assayag E., Mijajlovic M., Shenhar-Tsarfaty S., Bova I., Shopin L., Bornstein N.M.* Leukoaraiosis Is a Chronic Atherosclerotic Disease. The Scientific World Journal. 2012 May 15. – P. 6 pages.
18. *Hanning U., Sporns P.B., Schmidt R., Niederstadt T., Minnerup J., Bier G. et al.* Quantitative Rapid Assessment of Leukoaraiosis in CT. Clinical Neuroradiology. 2019. – P. 109–115.
19. *Fazekas F., Chawluk J.B., Alavi A., Hurtig H.I., Zimmerman R.A.* MR signal abnormalities at 1.5 T in Alzheimer's dementia and normal aging. AJR Am J Roentgenol. 1987 Aug. – P. 351–356.
20. *Debette S., Markus H.S.* The clinical importance of white matter hyperintensities on brain magnetic resonance imaging: systematic review and meta-analysis. BMJ. 2010 Jul 26.
21. *Zwanenburg A., Leger S., Vallières M., Löck S.* Image biomarker standardisation initiative. Radiology. 2016.
22. *Кобринский Б.А.* Нечеткость и факторы уверенности вербальных и визуальных экспертных знаний. Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии (НСМВИТ-2017): Труды VII всероссийской научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 3–7 июля, 2017 г.). 2017. – С. 83–91.
23. *Voinov A.V.* The role of similarity judgment in intuitive problem solving and its modeling in a sheaf-theoretic framework. Proceedings of the 1st International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 2002. – P. 753–757.
24. *Shortliffe E.H., Buchanan B.G.* A model of inexact reasoning in medicine. Mathematical Biosciences. 1975 April. – P. 351–379.
25. *Abedi V., Goyal N., Tsivgoulis G., Hosseinichimeh N., Hontecillas R., Bassaganya-Riera J. et al.* Novel Screening Tool for Stroke Using Artificial Neural Network. Stroke. 2017. – P. 1678–1681.
26. *Soffer S., Ben-Cohen A., Shimon O., Amitai M.M., Hayit G., Klang E.* Convolutional Neural Networks for Radiologic Images: A Radiologist's Guide. Radiology. 2019 Mar. – P. 590–606.

Д.В. ГАВРИЛОВ,
эксперт по медицине, ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: dgavrilov@webiomed.ai, ORCID: 0000-0002-8745-857X
А.В. КИРИЛКИНА,
заместитель главного врача по медицинской части, ГБУЗ РК «Республиканская инфекционная больница», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: kirilkinaa@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0400-8750
Л.М. СЕРОВА,
к.т.н., эксперт в области IT и математического моделирования социальных процессов, ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: lserova@webiomed.ai, ORCID: 0000-0001-6259-2492

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДОЗРЕНИЯ НА НОВУЮ КОРОНАВИРУСНУЮ ИНФЕКЦИЮ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИМПТОМОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

УДК: 004.896 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-51-58*

Гаврилов Д.В.[1], Кирилкина А.В.[2], Серова Л.М.[1] ***Алгоритм формирования подозрения на новую коронавирусную инфекцию на основе анализа симптомов для использования в системах поддержки принятия врачебных решений*** *([1]ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия; [2]ГБУЗ РК «Республиканская инфекционная больница», г. Петрозаводск, Россия)*

Аннотация. Течение пандемии COVID-19 накладывает значительную нагрузку на системы здравоохранения, в том числе на первичное звено, когда необходимо правильно заподозрить и определить дальнейшую тактику. Неспецифичность симптомов и разносторонность проявлений COVID-19 накладывают трудности для выявления подозрения на данное заболевание. Для улучшения определения COVID-19 потенциально могут быть полезны симптом-чекеры и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) с рекомендациями врачу для определения тактики ведения. Анализ научной литературы показывает многогранность проявлений и частоту встречаемости COVID-19. Взяв за основу этот анализ, мы структурировали проявления по частоте встречаемости, классифицировали их как «большие» и «малые». Были определены правила их взаимодействий для расчёта уровня подозрения на COVID-19. Каждому уровню подозрения были разработаны рекомендации по тактике ведения пациента. Для определения симптомов COVID-19 в неструктурированных текстах электронных медицинских карт были обучены модели NLP. Точность моделей по метрике F-мера составила от 84,6% до 96,0%. Таким образом, был разработан алгоритм выявления подозрения на COVID-19, который потенциально может быть использован в симптом-чекерах и СППВР для помощи врачам по определению COVID-19 и поддержки принятия тактических действий.

Ключевые слова: *COVID-19, определение симптомов, машинное обучение, алгоритм подозрения на COVID-19, системы поддержки принятия врачебных решений.*

UDC: 004.896

Gavrilov D.V.[1], Kirilkina A.V.[2], Serova L.M.[1] ***Algorithm for forming a suspicion of a new coronavirus infection based on the analysis of symptoms for use in medical decision support systems*** *([1]K-Sky LLC, Petrozavodsk, Russia; [2]Republican Infectious Diseases Hospital, Petrozavodsk, Russia)*

Abstract. The course of the COVID-19 pandemic imposes a significant burden on healthcare systems, including on primary care, when it is necessary to correctly suspect and determine further management. The symptoms non-specificity and the manifestations versatility of the COVID-19 impose difficulties in identifying suspicions. To improve the definition of COVID-19 symptom checkers and medical decision support systems (MDSS) can potentially be useful. They can give recommendations for determining the disease management.
The scientific analysis shows the manifestations versatility and the occurrence frequency COVID-19. We structured the manifestations by occurrence frequency, classified them as "large" and "small". The rules for their interaction were determined to calculate the level of suspicion for COVID-19. Recommendations on patient management tactics were developed for each level of suspicion. NLP models were trained to identify the symptoms of COVID-19 in the unstructured texts of electronic health records. The accuracy of the models on the F-measure metric ranged from 84.6% to 96.0%. Thus, a COVID-19 prediction method was developed, which can be used in symptom checkers and MDSS to help doctors determine COVID-19 and support tactical actions.

Keywords: *COVID-19, symptom detection, machine learning, COVID-19 suspicion algorithm, clinical decision support systems.*

© Д.В. Гаврилов, А.В. Кирилкина, Л.М. Серова, 2020 г.

АКТУАЛЬНОСТЬ

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), на октябрь 2020 г. число зараженных коронавирусной инфекцией в мире превысило 40,6 млн., более 1,1 млн. умерли [1]. Аналогичные данные представляет университет Джонса Хопкинса: всего в мире заразились свыше 41,1 млн. человек, из них более 1,1 млн. скончались [2]. Пандемия COVID-19 распространяется быстро и повсеместно, и несмотря на 10-месячное развитие болезни прогнозируется дальнейшее ускорение масштабов ее распространения. При этом многообразные клинические проявления этого заболевания остаются не специфичными, что вызывает трудности для диагностики и противоэпидемической работы [3]. Таким образом, разносторонняя клиническая картина в сочетании с проблемами надежности лабораторной диагностики приводят к трудностям определения диагностический критериев и проведения дифференциального диагноза. При симптомах острой респираторной вирусной инфекции, в том числе COVID-19, врачами первого контакта являются врачи и фельдшеры скорой медицинской помощи, терапевты, врачи общей практики и приемных отделений больниц. Для врача в данной ситуации главной задачей является раннее выявление пациентов с симптомами, характерными для COVID-19, оценка степени тяжести заболевания, проведение дифференциальной диагностики с другими заболеваниями, определение показаний к госпитализации и выбор тактики ведения. При этом необходимо получить и точно проанализировать имеющиеся симптомы для подозрения на COVID-19.

Пандемия COVID-19 способствовала разработке различных способов организации диагностического процесса при помощи информационных технологий, прежде всего связанных с телемедициной и симптом-чекерами. Так, врачам первичного звена Великобритании было рекомендовано проведение заочных консультаций по телефону или видеосвязи, обращая внимание на симптомы возможной пневмонии и рекомендации госпитализации при наличии проявлений среднетяжелого и тяжелого течения болезни или при наличии свидетельства об ухудшении состояния пациента [4].

Системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) имеют большие перспективы для улучшения качества оказания медицинской помощи через встраивание в медицинские информационные системы (МИС) [5]. СППВР объединяют информацию из электронных медицинских карт (ЭМК), данные медицинских справочников и результаты последних медицинских исследований для формирования подсказок врачу по тактике ведения пациента, в т.ч. с целью сокращения врачебных ошибок [6]. Автоматический анализ разносторонних симптомов COVID-19 потенциально можно использовать в СППВР для улучшения диагностического процесса и тактики ведения, определения пациентов высокого риска тяжелого течения COVID-19 и тем самым улучшения в управлении новой коронавирусной инфекцией.

Таблица 1

Классификация случаев COVID-19 ВОЗ

Вид случая	*Характеристика*
Подтвержденный случай COVID-19	наличие лабораторного подтверждения заболевания, независимо от наличия/отсутствия клинических признаков и симптомов
Подозреваемый случай	а) пациент с острым респираторным заболеванием, без какой-либо другой этиологии, которая полностью объясняет клиническую картину, но при наличии в анамнезе поездок или проживания в стране, районе или территории с локальной передачей COVID-19 в течение 14 дней до появления симптомов; б) пациент с любым острым респираторным заболеванием, который был в контакте с подтвержденным или вероятным случаем заболевания COVID-19 в течение 14 дней до появления симптомов; в) пациент с тяжелой острой респираторной инфекцией (лихорадка или, по меньшей мере, один признак респираторного заболевания, например, кашель или одышка), при которой требуется госпитализация, но в отсутствие другой этиологии, которая полностью объясняет клиническую картину
Вероятный случай	предполагаемый случай COVID-19, если лабораторные исследования не дали окончательных результатов, а также подозрительный случай, при котором по какой-либо причине невозможно провести тестирование

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Изначально имелось представление, что симптомы новой коронавирусной инфекции схожи с симптомами острых респираторных вирусных инфекций (ОРВИ) верхних дыхательных путей. В ходе развития пандемии были уточены прежние и появились новые симптомы COVID-19. У большинства зараженных (около 80%) заболевание носит малосимптомный или бессимптомный характер [7].

Для описания проявлений COVID-19 был разработан ряд регламентирующих документов. Для определения случая болезни COVID-19 в апреле 2020 г. ВОЗ рекомендовала использовать классификацию случаев, представленную в *таблице 1* [8]:

25 марта 2020 г. ВОЗ для учета случаев COVID-19 рекомендованы критерии диагностики и коды COVID-19 по Международной классификации болезней 10-го пересмотра. Данные коды приняты в РФ 08.04.2020 Распоряжением Минздрава России (МЗ РФ) от 08.04.2020 № 13-2/И/2-4335 «О кодировании коронавирусной инфекции, вызванной COVID-19». Приведенные ВОЗ «критерии» предназначены для популяционного выявления и учета случаев болезни. И эти подходы не полностью совпадают с подходами для диагностирования COVID-19 у конкретного индивидуума.

В отличие от ВОЗ, МЗ РФ дополнительно выделяет другие случаи, требующие обследования на COVID-19. Данные случаи рассматривают при обращении в медицинские учреждения лиц без признаков поражения дыхательной системы при наличии следующих данных эпидемиологического анамнеза:

- возвращение из зарубежной поездки за 14 дней до обращения;
- наличие тесных контактов за последние 14 дней с лицами, находящимися под наблюдением по инфекции, вызванной новым коронавирусом SARS-CoV-2, которые в дальнейшем заболели;
- наличие тесных контактов за последние 14 дней с лицами, у которых лабораторно подтвержден диагноз COVID-19;
- работа с лицами, у которых выявлен подозрительный или подтвержденный случай заболевания COVID-19.

ВОЗ декларирует, что наиболее распространенными проявлениями COVID-19 являются повышение температуры тела, утомляемость и сухой кашель; могут отмечаться различные боли, заложенность носа, насморк, фарингит или диарея. У многих инфицированных лиц не возникает каких-либо симптомов или плохого самочувствия. Примерно в 1 из 6 случаев COVID-19 возникает симптоматика дыхательной недостаточности. По мере получения новой информации о COVID-19 помимо поражения легких, были описаны симптомы – диарея, миалгия, миокардит, почечная и сердечная недостаточность, повреждение печени, сепсис, полиорганная недостаточность. Клинические проявления COVID-19 могут варьировать в зависимости от возраста пациента, состояния иммунной системы, наличия сопутствующих заболеваний, выраженности проявлений (от минимальных до полиорганной недостаточности). Течение COVID-19 неспецифично и похоже на течение других респираторных заболеваний. Некоторым отличием COVID-19 может быть лихорадка (43,8–98,6% по разным источникам), плохо купируемая обычными противовоспалительными и жаропонижающими препаратами в течение нескольких дней, длительность которой при тяжелом течении может достигать 13 дней. Хотя, субфебрилитет или нормальная температура тела может быть как при легком, таки тяжелом течении.

Многие исследователи описывают варианты симптомов COVID-19, в том числе в различных популяционных группах. Чаще всего превалируют такие симптомы, как повышение температуры тела, кашель, одышка, характерные для группы острых респираторных вирусных инфекций. Реже наблюдаются миалгия, диарея, головная боль, тошнота и рвота [9, 10].

При анализе публикаций, на начальном этапе заболевания частота кашля (сухого или с небольшим количеством мокроты) составляет 59,4–82,0%, одышки – 31–55%, миалгии – 34–44%, общей слабости, утомляемости и усталости – 69%, кровохарканья – 5%, диареи – 2–10%, ринореи – 4%, боли в горле – 5%, тошноты и рвоты – 1–3% [8, 9].

Множественные клинические наблюдения и аналитические сообщения показывают, что COVID-19 имеет труднопредсказуемое течение со множеством респираторных и других симптомов с разной степенью выраженности, быстроразвивающиеся осложнения [11, 12].

Постоянно происходит детализация и уточнение симптомов COVID-19, их появление в публикуемых Рекомендациях. Исследователи Carol H. Yan и др. описывают потерю вкуса и обоняния как довольно отличительный симптом COVID-19.

Отмечалось, что 68% пациентов с положительным тестом на COVID-19 (у 40 из 59) возникло нарушение обоняния, а у 71% (42 из 59 человек) – нарушение вкуса, тогда как среди 203 человек из контрольной группы (негативная ПЦР на SARS-CoV-2) только 16% имели потерю обоняния и 17% имели потерю вкуса. Американский CDC привел данные по тестированию на COVID-19: из 5000 человек, которые отмечали симптомы заболевания, 750 (16%) отмечали потерю обоняния или вкуса [13]. Таким образом, потеря обоняния и вкуса являются специфичными проявлениями COVID-19.

Данные о клинических проявлениях COVID-19 также были получены в результате анализа мобильного приложения COVID Symptom Tracker. Были проанализированы данные 400 000 человек, которые указывали 1 или несколько симптомов. В результате потерю обоняния или вкуса имели 18%, лихорадку – 10% и усталость – 53%. У 1702 был проведен тест на COVID-19. Из них у 579 тест был положительным. Потеря обоняния или вкуса наблюдалась у 59% с положительным результатом теста, а у лиц с отрицательным результатом теста этот показатель составил только 18% [14].

Исследователи из США Gadiel R. Alvarado и др. проанализировали вспышку COVID-19 у 736 из 4085 моряков с 31 марта по 15 апреля 2020 г, возникшую на авианосце «Теодор Рузвельт». Эта вспышка имеет ряд особенностей: средний возраст моряков составил 25 лет, тесные контакты из-за территориальной ограниченности, тотальное тестирование моряков на коронавирусную инфекцию и пристальное наблюдение в изоляции в течение 14 дней. В результате 590 (80,2%) имели какие-либо симптомы, 146 (19,8%) – были бессимптомными. Среднее время появления симптомов составило 7 (5–11) дней. Наиболее частыми симптомами были: кашель в 45,1%, простуды (заложенность носа, ринорея, чихание) в 52,5%, потеря обоняния в 37,4%, головная боль в 34,2%, потеря вкуса в 31,4%. Обращает внимание, что ранее часто описываемые симптомы COVID-1, такие как лихорадка и слабость, встречались только в 7,5 и 5,4% соответственно [15].

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДОЗРЕНИЯ НА COVID-19

Этап 1. Определение симптомов COVID-19

На основании проведенного анализа данных литературы выделены симптомы COVID-19, стратифицированы по частоте встречаемости. За основу разработки симптом-чекера COVID-19 для СППВР Webiomed были взяты симптомы из Временных методических рекомендаций 8 пересмотра МЗ РФ, ВОЗ [3], а также данных анализируемой литературы. Условно все симптомы по критерию частоты встречаемости были разделены на большие (встречаемость в более 40% случаев) и малые (встречаемость в менее, чем 40% случаев). Список симптомов представлен в *таблице 2.*

Этап 2. Создание модели для извлечения симптомов COVID-19 из электронных медицинских карт

В современных ЭМК большая часть медицинских документов, включая протоколы врачебных осмотров, хранится в виде неструктурированных текстовых записей. Для того, чтобы извлекать из

Таблица 2

Симптомы COVID-19 и их встречаемость

Описание групп симптомов	*«Большие» симптомы*	*«Малые» симптомы*
Встречаемость	более 40%	менее 40%
Описание	1. Повышение температуры тела более 37.5 °C 2. Кашель 3. Одышка	1. Утомляемость 2. Заложенность в грудной клетке 3. Миалгия 4. Спутанность сознания 5. Головные боли 6. Кровохарканье 7. Диарея 8. Сатурация ≤ 95% 9. Аносмия 10. Конъюнктивит 11. Кожная сыпь

таких записей признаки COVID-19, была создана модель машинного обучения с использованием методов Natural Language Processing (NLP).

Для создания модели был использован банк обезличенных электронных медицинских записей, собранный в централизованной информационной системе Webiomed. DataSet. На момент создания модели к системе Webiomed. DataSet было подключено свыше 20 медицинских организаций из 8 субъектов РФ, база данных содержала 53 млн. обезличенных медицинских документов по 1,8 млн. пациентов. Из этой базы данных были отобраны 11 243 первичных врачебных осмотров пациентов в возрасте от 30 до 80 лет с установленным диагнозом ОРВИ (коды МКБ-10: J00-J06) или пневмония (коды МКБ-10: J12 – J18.9).

В отобранных документах врачебных осмотров содержались неструктурированные записи о жалобах пациента, объективные данные осмотра, клинический диагноз и другие поля. Была осуществлена разметка отобранных записей, в которых были отмечены искомые признаки (симптомы).

Для создания модели извлечения симптомов использован метод распознавания именованных объектов Named Entity Recognition (NER). Этот метод применяется для разметки и классификации именованных в тексте частей – классов. В случае признаков COVID-19 классами являлись различные количественные и качественные параметры, а именно симптомы и их значения. Для создания моделей NER классификации использовался фреймворк с открытым исходным кодом для обработки естественного языка (NLP) – «SpaCy», написанный на Python, и выполняющий токенизацию, разметку частей речи (PoS) и разбор зависимостей [16]. В результате работы была создана модель, умеющая извлекать 9 признаков, перечень которых представлен в *таблице 3.*

Для оценки качества моделей используются различные алгоритмы оценки, но для задач NER, как правило, используются метрики: precision – точность; recall – полнота; F1 – среднее гармоническое точности и полноты. В связи с успешным применением данного подхода для излечения любой информации была достигнута договоренность, что SOTA NER (наилучшее значение метрик) считается, когда F1 больше 0,85. В обученных моделях F-мера составила от 84,6% до 96,0%, Точность от 82,60% до 97,43% и Полнота от 80,95% до 100% для различных признаков.

В ряде случаев признаки имели мало вариантов написания или же употреблялись в текстах очень редко. Для извлечения таких признаков был использован метод Rule based. Но его основе определялись еще 5 признаков COVID-19, представленных в *таблице 4.*

В итоге было обеспечено извлечение суммарно 14 симптомов COVID-19 на основании текстовой записи о жалобах пациентов и объективных данных осмотра, которые показали высокую точность при обработке неструктурированной ЭМК.

Модель извлечения признаков и решающие правила были интегрированы в веб-сервис «симптомчекера», который затем использовался в работе системы поддержки принятия врачебных решений Webiomed. Пример работы извлечения признаков

Таблица 3

Перечень симптомов COVID-19, извлекаемых моделью NLP на основе NER SpaCy

№	Признак	Число упоминаний признака в размеченных врачебных осмотрах	Точность (Precision) %	Полнота (Recall)%	F-мера (F1) %
1	Заложенность в груди	66	83.33	100.0	90.90
2	Слабость	321	82.60	88.37	85.39
3	Боль в мышцах	89	92.30	100.0	96.0
4	Диарея	74	93.75	83.33	88.23
5	Головная боль	198	94.44	85.0	89.47
6	Кашель	231	84.61	84.61	84.61
7	Конъюнктивит	249	97.43	93.82	95.59
8	Сатурация	203	97.14	80.95	88.31
9	Температура	327	89.79	88.0	88.88

Таблица 4

Описание правил для извлечения симптомов COVID-19 методом RuleBased

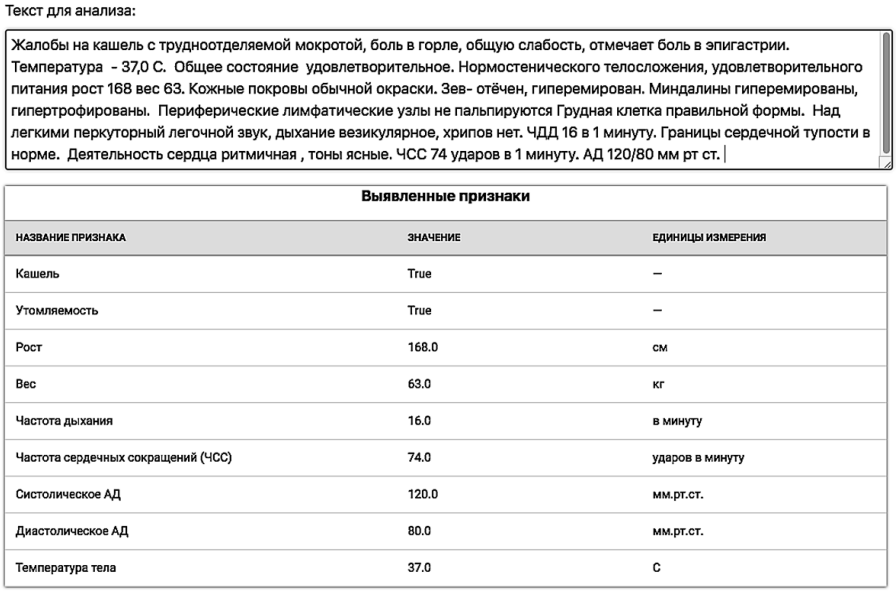
Признак	*Формирование правила*	
	Сначала осуществляется в текстовой строке поиск слов, а также другие формы этих слов:	*После чего ищутся слова отрицания:*
1. Спутанность сознания	1. Ступор 2. Сопор 3. Сонливость	"нет", "отрицает", "не беспокоит" около найденного слова. В случае если отрицания нет, признак считается найденным.
2. Одышка	1. Одышка	
3. Аносмия	1. Снижение обоняния 2. Потеря обоняния 3. Изменение обоняния 4. Отсутствие обоняния	
4. Поражения кожи	1. Сыпь на коже 2. Кожные высыпания	
5. Кровохарканье	1. Кровохарканье 2. Мокрота с кровью 3. Если модель spaCy нашла признак «кашель», то в найденной подстроке ищется слово кровь и его производные.	

из медицинских неструктурированных текстов в режиме веб-интерфейса представлен на *рис. 1.*

Этап 3. Риск стратификация пациентов с COVID-19 на основе решающих правил в СППВР

Оцененные симптомы COVID-19 были стратифицированы по 3 уровням подозрений на новую коронавирусную инфекцию, и на основании встречаемости и мнения врачей экспертов выстроены правила взаимодействия симптомов *(см. таблицу 5).*

Все описанные симптомы были введены в программу «решающих правил» СППВР, которая учитывает различное множество признаков и определяет взаимодействие введенных признаков. Программа для определения на подозрение COVID-19 учитывала симптомы, уровень значений симптомов, а также временную длительность оценки выявленных симптомов *(см. рис. 2).* Прописанные правила


Текст для анализа:

Жалобы на кашель с трудноотделяемой мокротой, боль в горле, общую слабость, отмечает боль в эпигастрии. Температура - 37,0 С. Общее состояние удовлетворительное. Нормостенического телосложения, удовлетворительного питания рост 168 вес 63. Кожные покровы обычной окраски. Зев- отёчен, гиперемирован. Миндалины гиперемированы, гипертрофированы. Периферические лимфатические узлы не пальпируются Грудная клетка правильной формы. Над легкими перкуторный легочной звук, дыхание везикулярное, хрипов нет. ЧДД 16 в 1 минуту. Границы сердечной тупости в норме. Деятельность сердца ритмичная , тоны ясные. ЧСС 74 ударов в 1 минуту. АД 120/80 мм рт ст.

Выявленные признаки

НАЗВАНИЕ ПРИЗНАКА	ЗНАЧЕНИЕ	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ
Кашель	True	–
Утомляемость	True	–
Рост	168.0	см
Вес	63.0	кг
Частота дыхания	16.0	в минуту
Частота сердечных сокращений (ЧСС)	74.0	ударов в минуту
Систолическое АД	120.0	мм.рт.ст.
Диастолическое АД	80.0	мм.рт.ст.
Температура тела	37.0	С

Рис. 1. **Пример извлечения признаков из неструктурированного медицинского текста моделями NLP**

Таблица 5

Уровни подозрения на COVID-19

Уровень подозрения	*Взаимодействие симптомов*
Отсутствует подозрение на COVID-19	Имеется 1 большой или малый симптом, или симптомы отсутствуют
Подозрение на COVID-19	Имеется 1 большой и один малый или 2 малых
Вероятен COVID-19	Имеется 2 и более больших или 3 малых

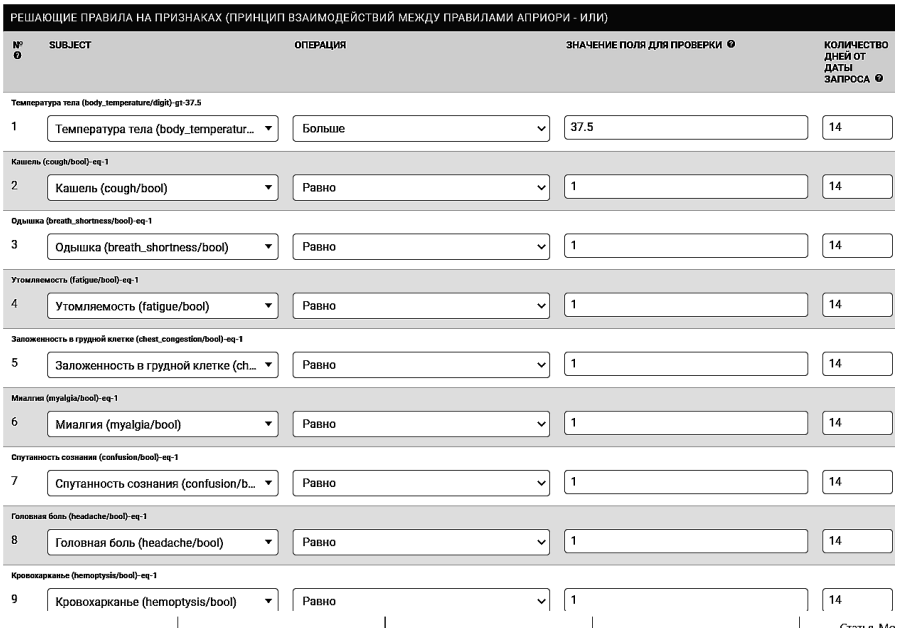


Рис. 2. **Вид программы «решающих правил» с введенными симптомами COVID-19**

взаимодействия симптомов были введены в программу «решающих правил» для расчёта подозрения на COVID-19.

Этап 4. Формирование рекомендаций по тактике ведения пациента

На основании полученных уровней подозрения разработаны рекомендации для практических действий медицинского персонала, участвующего в диагностике COVID-19 *(таблица 6)*. Таким образом, составлен алгоритм подозрения на COVID-19 на 14 симптомах заболевания, с правилами их взаимодействия и определением уровня подозрения на данное заболевание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм анализа симптомов новой коронавирусной инфекции можно использовать в СППВР, для определения тактики ведения, а при групповой оценке анализировать особенности проявления инфекции в целом или в отдельно взятых регионах. СППВР с алгоритмом выявления

Таблица 6

Потенциальные рекомендации по тактике ведения

Степень подозрения	*Рекомендации*
Отсутствует подозрение на COVID-19	Продолжить диагностический поиск, исключая COVID-19
Подозрение на COVID-19	Детально опросить пациента на предмет наличия всех потенциально имеющихся симптомов и проведение тестирования на COVID-19
Вероятен COVID-19	Применять меры как к пациенту с COVID-19, пока не доказано обратное

подозрения может взаимодействовать с электронными медицинскими картами медицинских информационных систем или отдельными приложениями, аккумулирующими симптомы заболеваний. Результатом этого взаимодействия будет помощь в определении заболеваний на основании симптомов и других проявлений болезни, выявление симптомов из врачебных записей методами NLP и поддержка принятия решения по дальнейшей тактике ведения пациента при помощи выведения рекомендаций для врача и пациента.

Финансирование исследования и конфликт интересов. Исследование финансировалось в рамках выполнения гранта компании ООО «К-Скай» с Некоммерческой Организацией «Фонд развития центра разработки и коммерциализации новых технологий» (Фонд «Сколково») № МГ04/20 от 22 мая 2020 г. по теме «Разработка системы поддержки принятия врачебных решений с использованием методов машинного обучения WEBIOMED». Конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard URL: https://covid19.who.int/
2. COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University URL: https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6
3. Временные методические рекомендации по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции 2019-nCoV/ Версия 8. https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/051/777/original/030902020_COVID-19_v8.pdf
4. *Greenhalgh T., Koh G., Car J.* Covid-19: a remote assessment in primary care. BMJ. 2020; 368: m1182.
5. *Гусев А.В., Зарубина Т.В.* Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 60–72.
6. *Гусев А.В., Плисс М.А.* Основные рекомендации к созданию и развитию информационных систем в здравоохранении на базе искусственного интеллекта. // Врач и информационные технологии. – 2018. – № 3. – С. 45–60.
7. Заболевание, вызванное коронавирусом (COVID-19): Часто задаваемые вопросы. URL: https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses
8. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report-95 URL: https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports.
9. *Chen H., Guo J., Wang C. et al.* Clinical characteristics and intrauterine vertical transmission potential of COVID-19 infection in nine pregnant women: a retrospective review of medical records. Lancet. 2020; 395 (10226): 809–15. DOI: 10.1016/S0140-6736 (20) 30360-3.
10. *Huang C., Wang Y., Li X. et al.* Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. Lancet. 2020; 395 (10223): 497–506. DOI: 10.1016/S0140-6736 (20) 30183-5.
11. *Wang D., Hu B., Hu C. et al.* Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus–Infected Pneumonia in Wuhan, China. JAMA. 2020; 323 (11): 1061–9. DOI: 10.1001/jama.2020.1585
12. *Szymanek-Pasternak A., Serafińska S., Kucharska M. et al.* Severe course of COVID-19 in a middle-aged man without risk factors. Pol. Arch. Intern. Med. 2020; Published online: April 03, 2020. DOI: 10.20452/pamw.15277.
13. Sudden Loss of Taste and Smell Should Be Part of COVID-19 Screen URL: https://www.medscape.com/viewarticle/929116.
14. COVID Symptom Study URL: https://beatcovid19now.org/
15. *Gadiel R. Alvarado, Benjamin C. Pierson, Eric S. Teemer, Hector J. Gama, Ronald D. Cole, Samuel S. Jang.* Symptom Characterization and Outcomes of Sailors in Isolation After a COVID-19 Outbreak on a US Aircraft Carrie. JAMA Netw Open. 2020;3(10): e2020981. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.20981.
16. *Gavrilov D., Gusev A., Korsakov I., Novitsky R., and Serova L.,* Feature Extraction Method from Electronic Health Records in Russia, in Proceedings of the FRUCT'26, ISSN 2305-7254, ISBN 978-952-69244-2-7, pp. 497–500, April 2020.

Э.А. КИТАЕВА,
к.м.н, ассистент кафедры общей гигиены, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань, Россия, e-mail: kitaevaenge@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2147-9025
Т.А. СУЕТИНА,
к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия, e-mail: suetinat@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3296-2330
З.А. АБДУЛГАНИЕВА,
аспирант, ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия, e-mail: zulfira94aza@yandex.ru
Э.А. БАКИРОВА,
к.м.н., старший научный сотрудник Центра высшего и дополнительного профессионального образования ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко», г. Москва, Россия, e-mail: bealuk1980@mail.ru
М.Р. КИТАЕВ,
к.м.н., главный врач ГАУЗ «Рыбно-Слободская ЦРБ», Республика Татарстан, Россия, e-mail: Mansur.Kitaev@tatar.ru, ORCID: 0000-0001-7047-7996

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДОБВРАЧЕБНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

УДК: 614.2, 616-082, 314.4, 616-08-039.71, 616.831-009.11, 616.1 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-59-67*

Китаева Э.А., Суетина Т.А., Абдулганиева З.А., Бакирова Э.А., Китаев М.Р. ***Информационная система добврачебной оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний*** *(ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань, Россия совместно с ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия)*

Аннотация. В статье представлено описание концептуального подхода к автоматизации алгоритма доврачебной оценки факторов риска возникновения неинфекционных заболеваний с целью раннего выявления заболеваний и их последующего мониторинга. Представленная информационная система позволит проводить расчет факторов риска неинфекционных заболеваний, обеспечить динамическое наблюдение, создать единый реестр доврачебных обследований. Информационная система разработана на базе разработанного ранее алгоритма доврачебной оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний [6], и позволяет предварительно выявлять факторы риска неинфекционных заболеваний среди широких масс населения без проведения дорогостоящих анализов и без привлечения высококвалифицированных медицинских работников.

Ключевые слова: *неинфекционные заболевания, здравоохранение, динамический мониторинг, раннее выявление, информационная система, факторы риска.*

UDC: 614.2, 616-082, 314.4, 616-08-039.71, 616.831-009.11, 616.1

Kitaeva E.A., Suetina T.A., Abdulganieva Z.A., Bakirova E.A., Kitaev M.R. ***Non-infectious diseases information system for pre-military evaluation of the risk*** *(FSBEI HE Kazan State Medical University, Ministry of Health of Russia, Kazan, Russia; FSBEI HE Kazan National Research Technical University A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia)*

Abstract. The article describes a conceptual approach to automating the algorithm for pre-hospital assessment of risk factors for non-communicable diseases in order to detect diseases early and monitor them later. The presented information system will allow calculating risk factors for non-communicable diseases, providing dynamic monitoring, and creating a unified register of pre-medical examinations. The information system is developed on the basis of a previously developed algorithm for pre-medical assessment of the risk of non-communicable diseases [4], and allows preliminary identification of risk factors for non-communicable diseases among the General population without conducting expensive analyses and without involving highly qualified medical professionals.

Keyword: *noncommunicable diseases, health care, dynamic monitoring, early detection, information system, risk factors.*

© Э.А. Китаева, Т.А. Суетина, З.А. Абдулганиева, Э.А. Бакирова, М.Р. Китаев, 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование здорового образа жизни населения, профилактика и контроль неинфекционных заболеваний являются одной из важнейших межотраслевых проблем развития Российской Федерации. Основные неинфекционные заболевания (далее-НИЗ) являются ведущей причиной заболеваемости, временной нетрудоспособности, инвалидности и смертности населения, они обусловливают не только большие человеческие страдания, но и выраженное негативное воздействие на социально-экономическое положение страны (сердечно-сосудистые заболевания – 48% случаев неинфекционных заболеваний, онкологические заболевания – 21%, хронические респираторные заболевания –12% и диабет –3,5% [1, 3, 4].

По данным Всемирной организации здравоохранения практически полностью отсутствует методическое сопровождение и контроль качества проведения скрининговых исследований [2]. Не обеспечено важнейшее условие современной организации профилактики и лечения больных с неинфекционными заболеваниями в плане развития информационных технологий. Следует отметить, что неинфекционные заболевания, как правило, протекают довольно медленно, они не передаются от человека к человеку, тем самым создавая иллюзию того, что хронические заболевания менее опасны, но чаще всего именно НИЗ служат причиной почти 70% смертей по всему миру. Недостаточный уровень мониторинга и отсутствие оценки риска возникновения НИЗ ведет к последующему позднему выявлению и, как следствие, к частой инвалидности или смерти. Улучшение мониторинга за состоянием здоровья населения должно находиться в числе основных приоритетов в борьбе с неинфекционными заболеваниями на национальном уровне [5, 6, 8].

В основу представленной информационной системы входит алгоритм оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний и построенная на основе данного алгоритма методика. Методика доврачебной оценки риска возникновения НИЗ основывается на самых распространенных факторах риска заболеваний и не требует проведения дорогостоящих анализов и привлечения высококвалифицированных медицинских работников. Использование методики особенно целесообразно и эффективно в отдаленных регионах России, так как проблема обследований в таких регионах остается актуальной из года в год. Одним из ключевых моментов организации доврачебного обследования в отдаленной местности является высокая удаленность населения от центральных районных больниц и проведения частых медицинских обследований [7]. Поэтому на передний план выходит своевременность проведения обследований с целью раннего выявления неинфекционных заболеваний [8, 9, 10]. Именно с этой точки зрения применение специализированной информационной системы позволит нам повысить эффективность профилактической работы. Алгоритм методики является отличным инструментом для оценки риска и контроля неинфекционных заболеваний в организациях любого профиля и вида деятельности. Мониторинг воздействий – факторов риска, и мониторинг результатов – заболеваемости, вызванной конкретным заболеванием – вот две базовые компоненты профилактики согласно рекомендациям из доклада о ситуации в области неинфекционных заболеваний в мире от 2010 года [5]. Именно эти базовые компоненты имеют отражение в алгоритме, методике и информационной системе доврачебной оценки риска возникновения НИЗ.

Работа выполняется в соответствии с федеральным проектом создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ), подразумевающей реализацию отдельных региональных проектов информатизации. Процесс доврачебного обследования разделен на 5 этапов. На первом этапе происходит регистрация гражданина, входными данными для этапа являются данные человека, пришедшего на обследование, его Ф. И. О., адрес проживания, пол и так далее, то есть заполняются личные данные пациента. На втором этапе лицом, проводящим обследование, заполняется карточка пациента. На третьем этапе проводится опрос, а именно анкетирование на выявление хронических неинфекционных заболеваний, факторов риска их развития. Анкета заранее составляется экспертами. Четвертый этап включает в себя проведение ряда исследований с использованием измерительных приборов. Диапазоны референсных значений показателей для расчета риска взяты согласно Всемирной организации здравоохранения. На последнем этапе производится запись всех полученных данных от пациента. На основе всех этапов строится оценка риска заболеваний. Суть проведения доврачебного обследования заключается в раннем определении риска неинфекционных заболеваний по факторам риска даже лицом, не имеющим медицинского образования. Программа позволит упростить учет

пациентов, позволит получить результаты обследования в этот же день.

Анализ результатов позволит врачу и пациенту видеть динамику факторов риска НИЗ и динамику количественной оценки риска возникновения НИЗ в виде графика улучшения или ухудшения состояния здоровья относительно прошлых обследований, а также даст возможность формирования прогнозов и рекомендаций.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель разработки и внедрения информационной системы: обеспечить совершенствование учета и взаимодействия с пациентами в целях раннего выявления неинфекционных заболеваний. Основная задача состоит в количественной оценке факторов риска НИЗ для широких масс населения. Задача настоящей статьи – представить разработанную информационную систему и ее возможности на базе разработанного алгоритма доврачебной оценки риска возникновения НИЗ.

МЕТОДЫ

Кратко опишем суть разработанного алгоритма оценки риска возникновения НИЗ. Для определения количественного значения риска возникновения НИЗ возникает необходимость выразить факторы риска НИЗ в количественном виде. Рейтинговое значение (балл) того или иного фактора риска формируется экспертом в области медицины с учетом рекомендаций ВОЗ и профессионального сообщества. Выраженность совокупности факторов по неинфекционным заболеваниям можно определить как сумму баллов. Рейтинговое значение меняется от минимального до максимального показателя. Исходя из имеющейся задачи стоит применить метод линейного масштабирования для оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний. Данный метод основан на определении референтных точек. Выбранный метод нормирования позволит определить на основе неполных данных риск возникновения заболевания (I) с некоторой точностью. Расчет метода линейного масштабирования производится по формуле 1.

$$I = \frac{X_{\text{факт}} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}, \quad (1)$$

где X_{min} – минимальное значение суммы показателей; X_{max} – максимальное значение суммы показателей; $X_{\text{факт}}$ – фактическое значение суммы показателей. Алгоритм определения риска неинфекционных заболеваний представлен на примере определения риска сердечно-сосудистых заболеваний (далее – ССЗ). На первом шаге медицинскому (или иному) работнику предоставляется список всех факторов риска, имеющихся в базе. Далее выбираются необходимые факторы, которые имеются у пациента. Факторы, которые влияют на увеличение риска сердечно-сосудистых заболеваний следующие: экологически загрязненные регионы проживания [4], мужской пол, отказ от прохождения диспансеризации, отказ от здорового рациона и режима питания, отсутствие регулярных занятий спортом, частое употребление алкогольной продукции, курение табака, постоянное нахождения в стрессовых ситуациях и чувство тревоги, индекс массы тела, выходящий за норму, повышенный общий холестерин и высокие показатели артериального давления. Также риск приобретения ССЗ связан с имеющимися сопутствующими заболеваниями в виде сахарного диабета и наличием в семье у близких родственников сердечно-сосудистых заболеваний.

На втором шаге подсчитывается индекс массы тела (ИМТ) по формуле 2 и отношение обхвата талии (ОТ) к обхвату бедер (ОБ) по формуле 3, для расчета коэффициента ожирения (k) по формуле 4.

$$\text{ИМТ} = \frac{\text{вес}}{\text{рост}^2}, \quad (2)$$

$$\text{Отношение ОТ к ОБ} = \frac{\text{ОТ}}{\text{ОБ}}, \quad (3)$$

$$k = \text{ИМТ} * \text{Отношение ОТ к ОБ}, \quad (4)$$

На третьем шаге после ввода всех показателей факторов риска и расчета индексов проводится анализ риска для каждого неинфекционного заболевания. Для этого обращаемся к матрице значений факторов риска для сердечно-сосудистых заболеваний. В *таблице 1* представлены факторы риска по ССЗ и соответствующие рейтинговые значения.

На следующем шаге производится суммирование всех показателей, которые имеют влияние на рассматриваемое заболевание, в данном случае сердечно-сосудистые, и определяется максимальный риск болезни. Согласно формуле 1, максимальное значение показателей по сердечно-сосудистым заболеваниям – 190, минимальное значение показателей по заболеванию равняется нулю. Следовательно, формула расчета оценки риска упрощается. Для удобства вычислим процент риска (формула 5).

$$I = \frac{X_{\text{факт}}}{X_{max}} * 100\%, \quad (5)$$

где X_{max} – максимальное значение суммы показателей; $X_{\text{факт}}$ – фактическое значение суммы показателей.

Таблица 1

Значения факторов риска для ССЗ

	Загрязненные	*Мужской*	*Нет*	*3 раза в неделю*	*Ежедневно*	*Да*	*Курил, но бросил*	*Время от времени*	*Сахарный диабет*	*Инсульт*	*Ишемия сердца*	*Повышен*	*Высокий*	*Умерен. гипертония*	*Гипертония средняя*	*Тяжелая гипертония*
Пол	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прохождение диспансеризации	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Здоровое питание	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Занятие спортом	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Употребление алкоголя	-	-	-	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Курение табака	-	-	-	-	-	20	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Стресс	-	-	-	-	-	10	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Имеются заболевания	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-
Заболевания в семье	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	15	-	-	-	-	-
Индекс массы тела	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5*k	-	-	-	-
Коэфф. ожирения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-
Общий холестерин	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	20	-	-	-
Артериальное давление	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	20	30
Проживание в регионе	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Для выдачи правильных рекомендаций относительно полученных результатов введем три группы оценки риска: низкий риск развития заболеваний, средний и высокий. В *таблице 2* представлены три группы оценки риска и соответствующий диапазон значений, определяющий группу.

Таблица 2

Соответствие группы риска и диапазон значений

Группа оценки риска	*Диапазон значений*
Низкий	(0; 25)
Средний	(26; 60)
Высокий	(61; 100)

Исходя из имеющихся факторов риска у пациента, на основании разработанного алгоритма получаем суммарное значение риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. Для оценки степени риска других НИЗ необходимо использовать другие факторы риска и другие рейтинговые значения. Данный алгоритм реализован в представленной в настоящей статье информационной системе. В этом случае появляется возможность ведения динамических наблюдений по степени риска возникновения различных НИЗ. Также в случае реализации алгоритма в виде информационной системы в автоматическом режиме могут выдаваться рекомендации о ведении здорового образа жизни с целью улучшения здоровья и уменьшения риска заболевания. При разработке информационной системы проведено моделирование при помощи Ramus Education, StarUml, использована среда разработки Microsoft Visual Studio 2017, архитектура клиент-сервер. Серверная часть системы работает под управлением MySQL. В качестве клиента системы используется приложение, написанное в этой же среде, используемый язык – C#.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Информационная система предназначена для автоматизации процесса доврачебного обследования оценки риска возникновения НИЗ: ведение учета, регистрация новых пациентов, учет посещений. Подсчет результатов, анализ результатов, формирование отчетности. На выходе получается отчет о состоянии здоровья гражданина с точки зрения риска возникновения НИЗ, прогноз развития НИЗ и рекомедации.

Таблица 3

Основные функциональные возможности ИС

Функции, обеспечивающие электронный учет прохождения обследования	*Функции, обеспечивающие формирование отчетности по обследованию*	*Функции, обеспечивающие личную заинтересованность пациента посредством сервиса «личный кабинет»*
Ведение электронной карты пациента	Формирование сводных сведений о проведении доврачебного обследования	Возможность отслеживания результатов доврачебного обследования
Выявление НИЗ (подозрение на заболевание). Оценка риска НИЗ	Формирование сводных сведений о выявленных при проведении доврачебного обследования заболеваниях (случаях)	Возможность мониторинга динамики показателей обследования
Осуществление работы с лицами, имеющими высокий процент риска		Возможность взаимодействия с медицинским учреждением
Динамическое наблюдение лиц, проходящих обследование	Формирование общих результатов диспансеризации	Возможность получить преимущества в прохождении дальнейших обследований при соблюдении ряда условий
Хранение полученных данных		
Формирование печатных форм		

Основные функциональные возможности информационной системы указаны в *таблице 3.*

Информационная система является интуитивно понятной для пользователя и при этом обеспечивает получение необходимых данных. Алгоритм методики разработан с возможностью применения в любой организации для оценки риска возникновения и мониторинга неинфекционных заболеваний. На *рис. 1* представлена древовидная диаграмма форм информационной системы доврачебной оценки факторов риска возникновения НИЗ.

Кратко опишем функциональность информационной системы с точки зрения пользователей. При открытии приложения для него отображается: авторизация. Медицинский (или иной) работник, проводящий обследование, является основным пользователем программы, ему доступны все возможности. Основными возможностями являются:

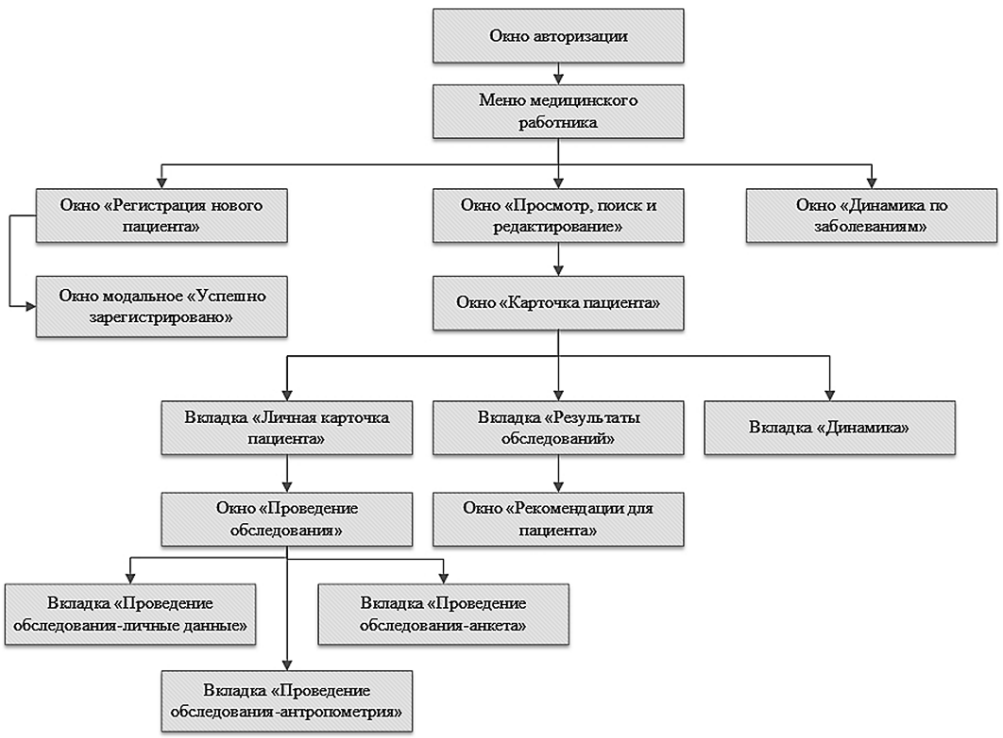


Рис. 1. **Древовидная диаграмма форм**

формы анкет (которые можно дорабатывать), информация о пациентах, результатах обследований и формирование отчетов.

Раздел «Регистрация новых пациентов» включает в себя ввод личных данных и присвоение логина и пароля, пользователь в дальнейшем сможет заходить в свой личный кабинет.

Раздел «Информация о пациентах» включает в себя следующие функции: добавить, изменить или удалить запись, поиск пациента.

Раздел «Личная карточка пациента» имеет три подраздела – «Личные данные», «Результаты обследований» и «Динамика». Подраздел «Личные данные» дублирует информацию из раздела «Информация о пациенте» и имеет такие функции как: изменить, сохранить и провести обследование. Подраздел «Результаты обследований» содержит журнал обследований по оси «Последние данные прохождения обследования». Функции: добавить колонку, удалить колонку, сохранить изменения и просмотреть рекомендации. Данные из этого раздела записываются в базу данных, и врач имеет возможность регулярно проводить мониторинг состояния пациентов. Подраздел «Динамика» отображает мониторинг пациента, функции и возможности подраздела: выбор заболевания из списка, выбор периода (даты), обновить.

Раздел «Проведение обследования» содержит три подраздела – «Личные данные», «Анкета», «Антропометрия» *(рис. 2–4).*

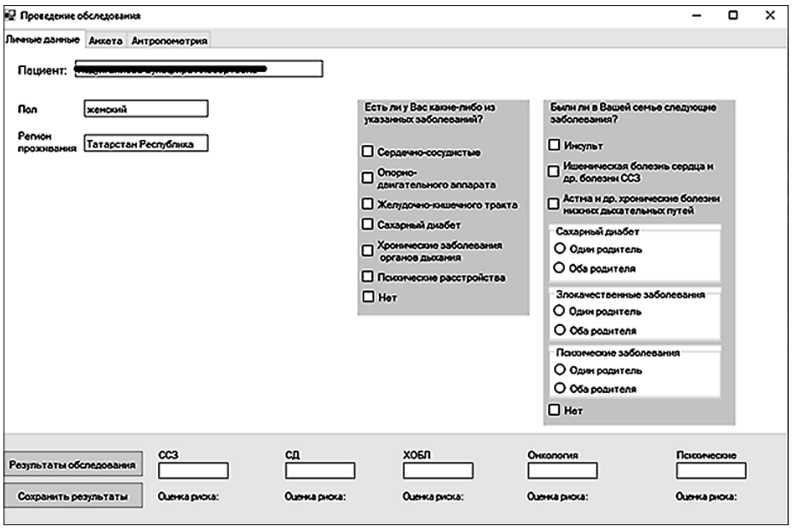


Рис. 2. **Экранная форма «Проведение обследования-личные данные»**

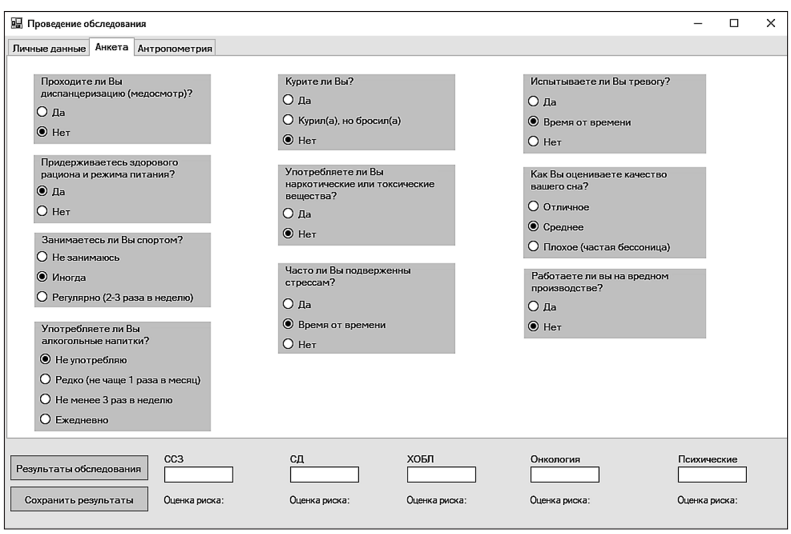


Рис. 3. **Экранная форма «Проведение обследования-анкета»**

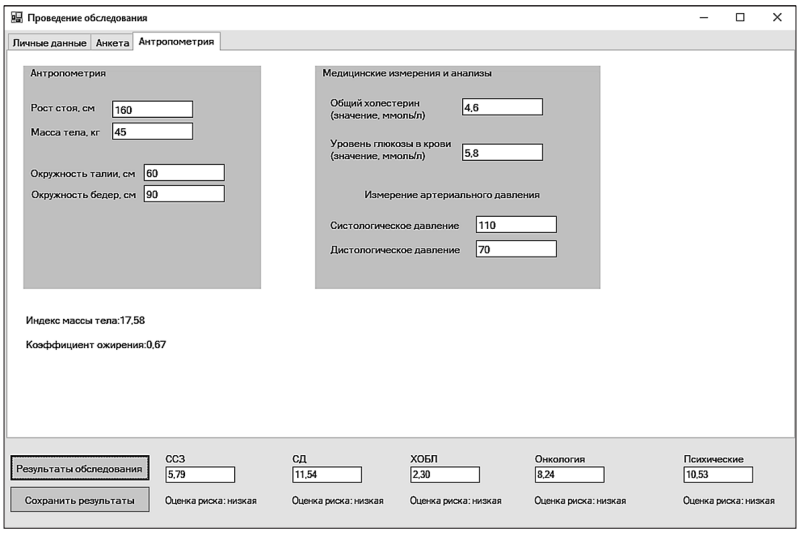


Рис. 4. **Экранная форма «Проведение обследования-антропометрия»**

После ввода всех необходимых значений следует нажать на «Результаты обследования». После расчета показателей выдается оценка риска (*рис. 5*). В данном случае оценки рисков всех НИЗ являются низкими. На *рис. 5* также видно, какие значения принимает риск ССЗ для конкретного человека в динамике. Полученные результаты необходимо сохранить, после чего пользователь снова переходит в личную карточку пациента.

Раздел «Рекомендации для пациента» *(рис. 6)*, доступный при помощи кнопки «Рекомендации», формирует печатный отчет об основных рекомендациях по неинфекционным заболеваниям с учетом оценки риска НИЗ, а также позволяет проследить динамику по каждому заболеванию у данного пациента за интересующий период.

В разделе «Динамика по заболеваниям» можно посмотреть уровень неинфекционных заболеваний по регионам. Запись содержит показатели: заболевание; пол; регион проживания; период. Раздел содержит следующие функции – показать, сравнить все заболевания.

По предварительным оценкам затраты на проект «Доврачебная оценка факторов риска возникновения НИЗ» составили 400 тыс. рублей.

Медико-экономическая эффективность определяется тем, что система направлена на раннее выявление риска возникновения НИЗ и, следовательно,

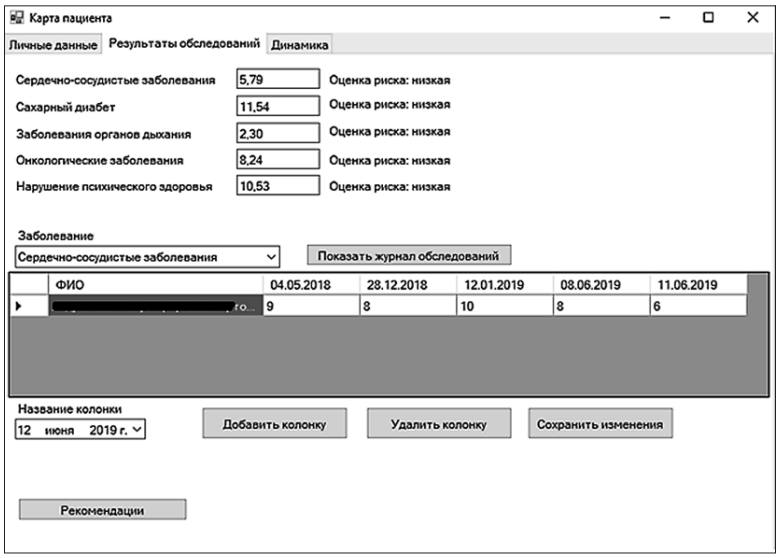


Рис. 5. **Вкладка формы «Результаты обследований»**

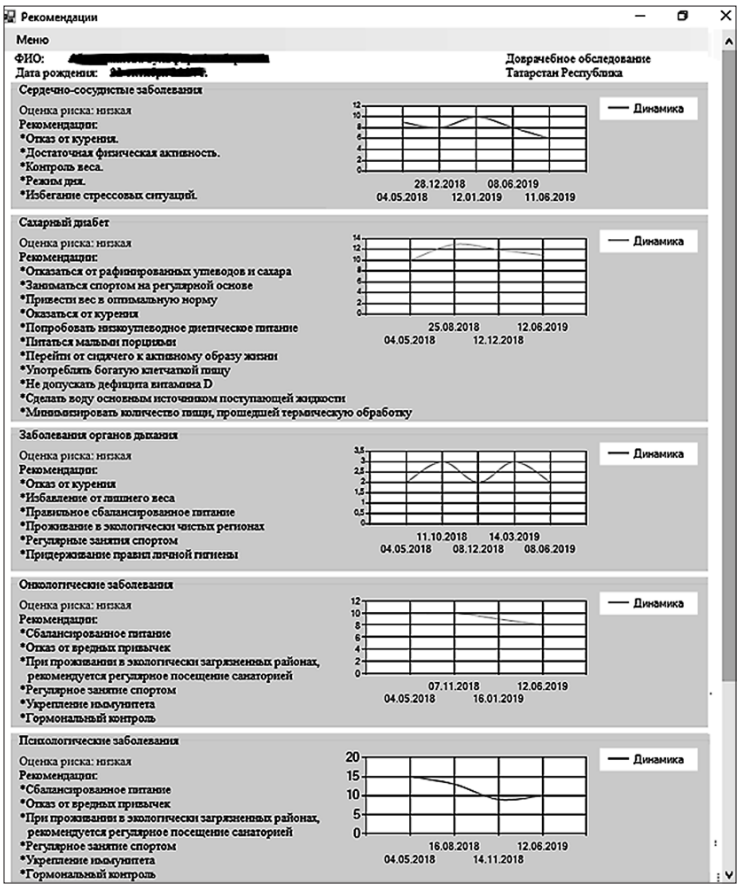


Рис. 6. **Экранная форма «Рекомендации для пациента»**

предотвращение НИЗ. Предотвращение заболеваний – это прежде всего сохранение трудоспособности и экономия на лечении.

Рассмотрим затраты на стоимость лечения одного инсульта. В зависимости от вида и степени острого нарушения мозгового кровообращения затраты на лечение одного случая согласно тарифным соглашениям об оплате медицинской помощи по территориальной программе обязательного медицинского страхования Республики Татарстан можно оценить следующим образом:

• При условно-благоприятном исходе заболевания, в среднем, составляют 46556, 77 руб.

• При неблагоприятном исходе, в среднем, составляют 192447 руб.

• При летальном исходе затраты на один случай, в среднем, составляют 51853, 4 руб. [5].

Согласно ориентировочным срокам временной нетрудоспособности при болезнях системы кровообращения (класс IX по МКБ-10), инфаркт мозга легкой степени составляет 60–75 календарных дней. Среднегодовая дневная зарплата по Республике Татарстан составляет 1564 рубля. Следовательно, затраты на выплаты по листкам нетрудоспособности по инсульту составляют 129040,8 руб. за 60 дней нетрудоспособности гражданина.

Согласно предоставленным данным, эффективность внедрения доврачебной оценки риска возникновения НИЗ достаточно велика.

ВЫВОДЫ

Разработана информационная система доврачебной оценки факторов риска возникновения НИЗ на основе разработанного алгоритма. Система основывается на самых распространенных факторах риска заболеваний, не требует проведения дорогостоящих анализов и привлечения высококвалифицированных медицинских работников.

Две базовые компоненты имеют отражение в методике, алгоритме и информационной системе доврачебной оценки риска возникновения НИЗ: мониторинг воздействий – факторов риска; мониторинг результатов – заболеваемости, вызванной конкретным заболеванием.

Приложение предоставляет сервис для ведения полноценного мониторинга пациента по факторам риска НИЗ, проведения доврачебного обследования с формированием диаграмм, характеризующих динамику состояния. Медико-экономический эффект от внедрения системы будет достигнут за счет предотвращений и снижения НИЗ. Внедрение разработанной ИС будет способствовать улучшению качества раннего выявления заболеваний и повышению качество жизни населения.

В целом, внедрение информационной системы позволит повысить эффективность профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление неинфекционных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проект Межведомственной стратегии формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период 2025 года. Москва, 2016. – 40 с. – Режим доступа: https://www.gnicpm.ru/UserFiles/PROEKT_STRATEGII_NIZ-210616.pdf
2. *Бойцов С.А.* Смертность и факторы риска неинфекционных заболеваний в России: особенности, динамика, прогноз. / Деев А.Д., Шальнова С.А. // Журн. Терапевтический архив. Москва, 2017. – 10 с.
3. Доклад о ситуации в области неинфекционных заболеваний в мире. /Всемирная организация здравоохранения. Исполнительное резюме; сост. под ред. д-р Ala Alwan. – Женева, 2010. – 21 с.
4. *Улумбекова Г.Э.* Здравоохранение России. Что надо делать? М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 704 с.
5. *Абдулганиева З.А.* Алгоритм доврачебной оценки факторов риска возникновения неинфекционных заболеваний // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): международная молодежная научная конференция, 7–8 ноября 2019, Материалы конференции. Сборник докладов. В 6 томах, Т. 5. Казань: из. ПИ Сагиева А.Р., 2019. – С. 6–9.
6. Медико-экономическая эффективность создания «Школы инсульта» на примере центральной районной больницы Рыбно-Слободского района Республики Татарстан/ Китаева Э.А., Суетина Т.А., Китаев М.Р. [и др.]. // Журн. Российское предпринимательство. Москва, 2016. – С. 2125–2138.
7. *Гильманов А.А.* Причины и факторы, определяющие необходимость изменений в сельском здравоохранении. Бюлл. Нац. научно-исслед. ин-та общественного здоровья им. Н.А. Семашко. – 2016. – № 3. – С. 29–39.
8. *Laatikainen T., Jula A., Jousilahti P.* The targets set by WHO to reduce blood pressure will not be reached without nutritional changes and more effective care. Data Brief. 2015; 025.
9. Разработка, реализация и оценка программ профилактики неинфекционных заболеваний (методическое письмо) под ред. акад. РАМН Оганова Р.Г., проф. Хальфина Р.А. Москва, 2002. 68 с. 61.
10. *Pineda E., Sanchez-Romero M., Brown M. et al.* Achieving the 2025 WHO global health body-mass index targets: a modelling study on progress of the 53 countries in the WHO European region. The Lancet, 2016; 388: 90. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)32326-1.

К.А. ЛУКИНА,
к.м.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия, e-mail: kira1404@gmail.com
Д.А. ЗАЙЦЕВ,
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия, e-mail: zaytcev.d@blood.ru
Т.Ц. ГАРМАЕВА,
д.м.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия, e-mail: garmaeva@yandex.ru
Л.П. МЕНДЕЛЕЕВА,
д.м.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия, e-mail: mendeleeva.l@blood.ru

ТЕЛЕМЕДИЦИНА КАК ИНСТРУМЕНТ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРОФИЛЬНЫМИ МЕДИЦИНСКИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: 5-ЛЕТНИЙ ОПЫТ ФГБУ «НМИЦ ГЕМАТОЛОГИИ» МИНЗДРАВА РОССИИ

УДК: 614.2 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-68-77*

Лукина К.А., Зайцев Д.А., Гармаева Т.Ц., Менделеева Л.П. ***Телемедицина как инструмент межрегионального дистанционного взаимодействия с профильными медицинскими организациями субъектов Российской Федерации: 5-летний опыт ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России*** *(Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия)*

Аннотация. Значительный прогресс в развитии телемедицинских технологий происходит благодаря совершенствованию механизмов нормативно-правового регулирования и реализации национального проекта «Здравоохранение». Национальным медицинским исследовательским центрам (НМИЦ) была поставлена задача организации консультативной и методологической экспертной поддержки профильных региональных медицинских организаций 3 уровня субъектов РФ.

В статье представлен опыт ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России по применению телемедицинских технологий с целью совершенствования оказания специализированной, в том числе высокотехнологичной медицинской помощи. За 5-летний период работы существенно выросло количество запросов на проведение телемедицинских консультаций по профилю «гематология/онкология» уровня «врач-врач», в том числе благодаря организационной работе по расширению географического охвата и привлечению профильных специалистов – региональных врачей гематологов. Так, в 2019 году было получено 1380 запросов из 80 субъектов РФ. Наибольшее количество запросов поступило из медицинских организаций Центрального (28%) и Сибирского (25%) федеральных округов. Проведен анализ распределения врачебных консультаций/консилиумов по целевым направлениям, маршрутизации, нозологическим формам и другим клиническим характеристикам в целом, а также и по регионам Российской Федерации.

Телемедицинские консультации играют важную роль в осуществлении своевременной и детальной первичной диагностики и мониторинга пациентов с заболеваниями системы крови, сокращению временного периода постановки диагноза, оптимизации маршрутизации пациентов, повышению доступности и своевременности начала терапии – выбора и обоснования тактических решений, смены программ лечения основного заболевания, коморбидных состояний и осложнений. В большинстве случаев в итоге данные мероприятия способствуют снижению рисков неудач терапии, осложнений и летальных исходов. Анализ накопленных в консультативном центре данных позволяет получать комплексное представление о лечеб-

© К.А. Лукина, Д.А. Зайцев, Т.Ц. Гармаева, Л.П. Менделеева, 2020 г.

но-диагностических возможностях, качестве и эффективности оказания профильной медицинской помощи в субъектах РФ.

Ключевые слова: *телемедицинские консультации, дистанционные технологии, национальный медицинский исследовательский центр, межрегиональное взаимодействие, организация медицинской помощи по профилю «гематология/онкология».*

UDC: 614.2

Lukina K.A., Zaytcev D.A., Garmaeva T.T., Mendeleeva L.P. ***Telemedicine as a tool for remote interaction with regional hospitals: 5-year experience of the National Research Center for Hematology*** *(National Research Center for Hematology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia)*

Abstract. Significant expansion of telemedicine technologies was made possible by the adoption of the necessary legal regulation and initiation of the national program "Healthcare". National research centers were assigned a mission to provide advisory and methodological support to the regional hospitals.

The manuscript describes the experience of the National Research Center for Hematology in application of telemedicine technologies in order to improve the quality of specialized medical care. Progressive increase in the number of requests for telemedicine consultations was observed during the last 5 years, also due to the activities aimed at expansion of geographical coverage of telemedicine technologies and involvement of the regional doctors. In 2019 1380 requests were received from 80 regions of the Russian Federation. The largest number of requests came from the hospitals of the Central (28%) and Siberian (25%) Federal Districts. Distribution of consultations by aim, disease, regions of origin is presented in the manuscript.

Telemedicine consultations significantly contribute to the implementation of precise diagnostics and monitoring of patients with blood disorders, shortening of the time of diagnosis, timely treatment initiation, help to organize correct patient referrals, ultimately reducing the risks of treatment failure, complications and lethal outcomes. Analysis of the data accumulated in the consulting National research center allows to assess the quality and effectiveness of medical care in the regional hospitals.

Keywords: *telemedicine consultations, telemedicine technologies, national research center, hematology, interregional interaction, healthcare management.*

ВВЕДЕНИЕ

Телемедицина (греч. tele – дистанция, лат. meder – излечение) представляет собой инструмент здравоохранения, использующий телекоммуникационные и электронные информационные технологии для предоставления медицинской помощи в точке необходимости (в случаях, когда географическое расстояние между медицинским работником и пациентом является критическим фактором) [1]. Телемедицинское консультирование – процесс дистанционного обсуждения конкретного клинического случая с целью поддержки в принятии оптимального клинического решения для оказания неотложной или плановой медицинской помощи. Телемедицинское консультирование является одним из наиболее перспективных направлений современной медицины в Российской Федерации (РФ), что обусловлено рядом факторов:

- большая территория и низкая плотность населения во многих регионах;
- неравномерное развитие здравоохранения в регионах;
- необходимость повышения качества оказания и доступности медицинской помощи населению.

В условиях ускоренного развития информационных, в том числе телемедицинских технологий крайне важно поддерживать на высоком уровне и совершенствовать стандарты оказания дистанционной консультативной медицинской помощи. Если на ранних этапах телемедицинские технологии преимущественно позиционировались в научных печатных материалах и средствах массовой информации как способ взаимодействия с сельскими и труднодоступными отдаленными районами, то в настоящее время все больше усиливается их использование при оказании специализированной, в том числе высокотехнологичной медицинской помощи [2]. Соответственно, возрастает значимость выстраиваемой в РФ трехуровневой системы оказания медицинской помощи [3], использование телемедицинских технологий при последовательном взаимодействии между медицинскими организациями 1, 2, 3 уровней и профильными национальными медицинскими исследовательскими центрами.

Значительный прогресс в развитии телемедицинских технологий стал возможен благодаря принятию необходимого нормативно-правового регулирования [4, 5] и старту национального проекта «Здравоохранение», включающему федеральные проекты «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)» и «Развитие сети национальных медицинских исследовательских центров (НМИЦ) и внедрение инновационных медицинских технологий» [6]. Данные федеральные проекты нацелены на усиление и повышение значимости профессиональных коммуникаций между работниками медицинских организаций всех уровней и предлагают комбинированный подход, а именно: проведение

выездных мероприятий сотрудниками национальных медицинских исследовательских центров в медицинские организации субъектов РФ, проведение дистанционных медицинских консультаций и научно-практических мероприятий образовательного, организационно-методического характера, онлайн-конференций, разборов клинических случаев и виртуальных обходов.

Внедрение телемедицинских технологий в повседневную практику существенно повышает прозрачность оказания медицинской помощи в медицинских организациях субъектов РФ. Регулярное документирование, пополнение и актуализация баз данных, взаимодействие с профильными медицинскими организациями позволяет накапливать большой объем материала для последующего анализа.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Представить опыт ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России по применению телемедицинских технологий в рамках реализации федерального проекта «Развитие сети национальных медицинских исследовательских центров и внедрение инновационных медицинских технологий» – оказание прикрепленным («якорным») медицинским организациям субъектов РФ профильной консультативной помощи и организационно-методической поддержки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках реализации национального проекта «Здравоохранение» и в целях совершенствования оказания специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи была сформирована сеть национальных медицинских исследовательских (научно-практических) центров на базе подведомственных Минздраву России научно-исследовательских организаций [7].

ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России (далее – НМИЦ гематологии) является ведущим научно-практическим центром по оказанию специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи по профилю «гематология/онкология». Организация и оказание медицинской помощи пациентам с заболеваниями системы крови, в том числе с применением информационно-телекоммуникационных технологий (телемедицинские консультации/консилиумы), представляет собой одно из приоритетных направлений деятельности НМИЦ гематологии.

В задачи НМИЦ в рамках взаимодействия в условиях вертикально-интегрированной четырехуровневой системы организационно-методического руководства медицинскими организациями входит [8, 9]:

- оказание консультативной медицинской помощи по конкретным клиническим случаям;
- трансляция передовых практик диагностики и лечения;
- осуществление контроля качества оказания медицинской помощи;
- организационно-методическое руководство профильными медицинскими организациями субъектов РФ;
- выявление кадрового дефицита и разработка предложений в области подготовки (переподготовки) медицинских кадров;
- разработка предложений в рамках совершенствования маршрутизации пациентов, биологических образцов, электронной медицинской документации.

Накопленный к настоящему времени опыт НМИЦ гематологии показал, что телемедицинские технологии находят свое применение в каждом из приведенных выше направлений.

С 2015 г. на базе НМИЦ гематологии функционирует Федеральный телемедицинский консультативный центр (ФТКЦ). Консультации осуществляют профильные высококвалифицированные специалисты – руководители подразделений и научные сотрудники, ведущие специалисты в различных областях гематологии. Организацию и проведение телемедицинских консультаций, научно-практических мероприятий, а также научно-методическое руководство осуществляют сотрудники отдела организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий по профилю «гематология» (далее – отдел телемедицины).

Специалисты НМИЦ гематологии проводят телемедицинские консультации/консилиумы уровня «врач – врач» по запросам от профильных медицинских организаций субъектов РФ, поступающим через телемедицинские информационные системы Минздрава России.

На начальном этапе полученный запрос на консультацию обрабатывается сотрудниками отдела телемедицины: осуществляется регистрация информации о запросе в базе данных, оценка его профильности, а также качества, полноты и актуальности данных приложенной медицинской документации. При необходимости сотрудник отдела телемедицины запрашивает дополнительную информацию у направившей запрос медицинской организации.

В случае соответствия приложенной документации определенным требованиям запрос направляется одному или нескольким профильным специалистам-консультантам – экспертам в данной области гематологии. Срок ответа на неотложные запросы составляет 1 рабочий день [5], на плановые – 5 рабочих дней. При необходимости проведения консультации в режиме реального времени посредством видеоконференцсвязи сотрудник отдела телемедицины согласовывает удобную дату и время проведения консультации с профильными консультантами и региональными специалистами, направившими запрос. После проведения видеоконференцсвязи и/или экспертного анализа представленной медицинской документации консультант формулирует медицинское заключение и направляет его в отдел телемедицины. На основании данного заключения (либо нескольких заключений в случае участия нескольких консультантов) сотрудник отдела телемедицины формирует медицинское заключение консилиума, согласовывает его со всеми консультантами, а также с руководителем ФТКЦ. Необходимо отметить, все телемедицинские консультации, осуществляемые НМИЦ гематологии, представляют собой консилиумы с участием как минимум трёх специалистов: профильного консультанта, сотрудника отдела телемедицины (врач-гематолог, кандидат медицинских наук), руководителя ФТКЦ или его заместителя (врач-гематолог, доктор медицинских наук). На финальном этапе заверенный подписями и печатью, а также электронной цифровой подписью документ – медицинское заключение консилиума – загружается в телемедицинскую систему.

Детальная формализованная информация о всех поступающих запросах и проведенных консультациях/консилиумах вносится в базу данных отдела телемедицины НМИЦ гематологии и служит основой для последующего всестороннего анализа, оценки и формирования отчетных форм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На протяжении 5 лет функционирования ФТКЦ НМИЦ гематологии наблюдается прогрессивный рост количества запросов на проведение телемедицинских консультаций (ТМК). Так, в 2016 г. было получено 9 запросов, в течение 2019 г. – 1380 запросов, тогда как по итогам 6 месяцев 2020 г. (на 30.06.2020 г.) в ФТКЦ поступил уже 891 запрос, что почти в 2 раза больше, чем за аналогичный период 2019 г. (502 запроса). Динамика количества запросов на ТМК за период 2016 г. – 30.06.2020 г. представлена на *рис. 1*. Ежегодный прирост количества запросов на ТМК составляет в среднем 596%.

Востребованность консультаций специалистов НМИЦ гематологии в течение 1 квартала 2020 г. составляет в среднем 7,9 обращений в сутки, что свидетельствует об актуальности, эффективности и нарастающей востребованности экспертных консультаций федерального центра с применением телемедицинских технологий *(рис. 2)*.

Основную массу ТМК составляют плановые запросы. Отмечается снижение количества ТМК, проводимых в неотложном порядке, с 37% в 2016 г. до 7% в 2019 г.

Примерно 20% ТМК проводится в режиме реального времени посредством видеоконференцсвязи

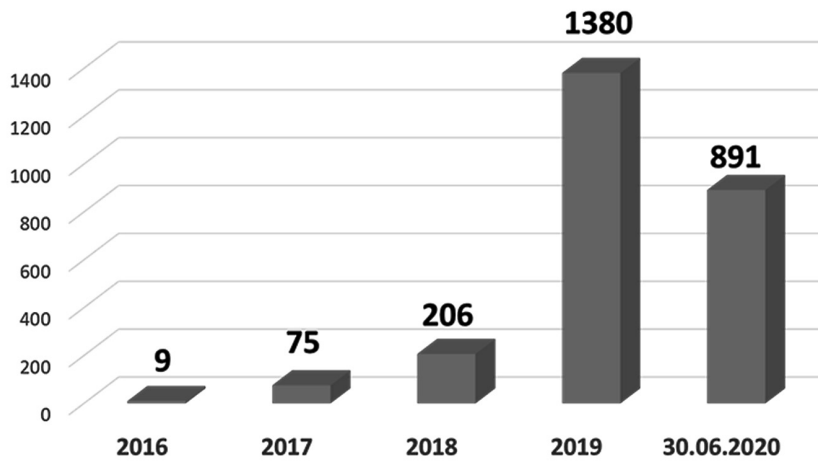


Рис. 1. **Динамика количества запросов на проведение ТМК за период с 2016 по 2019 гг. и за 6 месяцев 2020 г.**

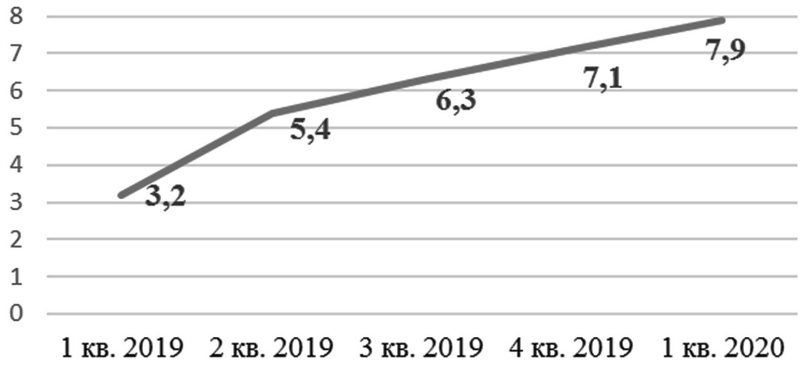


Рис. 2. **Среднее число обращений за ТМК в день за период 1 квартал 2019 г. – 1 квартал 2020 г.**

с последующим формированием медицинского заключения.

Часть запросов на ТМК отклоняется по различным причинам, среди которых – дублирование запросов, поступление непрофильных запросов, некорректное оформление или отсутствие приложенной медицинской документации. Следует отметить, что с течением времени отмечается уменьшение количества отклоненных запросов с 28% в 2017 г. до 13% в 2019 г., что, очевидно, свидетельствует о постепенном совершенствовании навыков работы с телемедицинскими системами.

Что касается целей консультации, то подавляющее большинство полученных в 2019 г. запросов (93%) было направлено с целью уточнения тактики лечения, 22% – для уточнения диагноза, 20% – с целью определения возможности госпитализации пациента в НМИЦ гематологии (сумма – более 100%, так как в одном запросе могут присутствовать комплексные цели).

Помимо врачебных ТМК, специалисты ФТКЦ НМИЦ гематологии осуществляют экспертные дистанционные консультации данных радиологических и гистологических исследований, проведенных у пациентов гематологического профиля. В 2019 г. поступило 68 запросов на консультацию серий изображений радиологических исследований и 3 запроса на консультацию изображений гистологических и иммуногистохимических препаратов, расположенных на сервере телеконсультирования. Наиболее важное значение такие консультации имеют для регионов с низкой плотностью населения, специалисты которых не имеют достаточного практического опыта в такой узкоспециализированной области медицины, как гематология. В связи с этим необходимо отметить особую актуальность оснащения медицинских организаций таких регионов программно-аппаратными комплексами сканирования гистологических и иммуногистохимических препаратов.

В 2019 г. подавляющее большинство ТМК (99%) было проведено по запросам, поступившим из медицинских организаций РФ, и лишь 1% (8 запросов) – из Украины (г. Донецк). Наибольшее количество запросов поступило из Центрального (28%) и Сибирского (25%) федеральных округов, наименьшее – из Северо-Западного федерального округа (2%), что обусловлено более тесным взаимодействием медицинских организаций последнего с федеральными центрами г. Санкт-Петербурга *(рис. 3)* [10]. Анализ распределения запросов на ТМК по субъектам РФ показал, что больше всего обращений поступило из Алтайского края, Тамбовской области, Ямало-Ненецкого автономного округа, Пензенской и Тульской областей.

С момента организации ФТКЦ на базе НМИЦ гематологии проводится активная работа по расширению дистанционного взаимодействия с профильными региональными медицинскими организациями, в том числе посредством организации и привлечения региональных специалистов к участию в научно-практических (образовательных и организационно-методических) мероприятиях с применением телемедицинских технологий. Значительный вклад в развитие и расширение охвата дистанционного межрегионального взаимодействия внесли проводимые с 2019 г. выездные мероприятия специалистов НМИЦ гематологии в профильные медицинские организации субъектов РФ [11]. Об эффективности проделанной работы свидетельствует ежегодное расширение географии запросов на ТМК: в 2016 г. запросы поступили из 4 субъектов РФ, в 2017 г. – из 11, в 2018 г. – из 39, в 2019 г. – из 80 субъектов РФ.

Рис. 3. **Распределение ТМК за 2019 г. по Федеральным округам РФ**

Для оценки степени активности субъектов РФ в дистанционном взаимодействии с НМИЦ гематологии был введен расчетный показатель, отражающий отношение количества направленных запросов к числу взрослого населения данного субъекта РФ (x = (число запросов/взрослое население субъекта РФ) * 1 000 000). Региональными лидерами по данному расчетному показателю явились Магаданская область, Ненецкий автономный округ, Тамбовская область, г. Севастополь, Ямало-Ненецкий автономный округ и Республика Бурятия. В таблице *(таблица 1)* приведены субъекты РФ с наиболее высоким уровнем показателя (№№ 1–6) и наиболее низким (№№ 7–9). Следует отметить, что данный показатель не следует интерпретировать в бюрократически-административном ключе. Основная его цель – привлечь внимание к некоторым региональным особенностям использования ТМК. Например, кажущаяся низкой активность некоторых северных регионов, очевидно, связана с тем, что специалисты этих регионов исторически профессионально связаны с федеральными центрами г. Санкт-Петербурга. В этой связи стоит отметить важность обмена данными между федеральными центрами и ведущими клиниками для комплексного географического и сетевого анализа активности ТМК как показателя межрегиональных профессиональных информационных обменов.

Таблица 1

Распределение числа запросов на проведение ТМК в расчете на 1 000 000 взрослого населения по субъектам РФ за 2019 г.

№	Субъект РФ	Число запросов (ед.)	Взрослое население (чел.)	Расчетный показатель
1	Магаданская область	14	111 537	125,5
2	Ненецкий автономный округ	3	31 848	94
3	Тамбовская область	76	844 436	90
4	г. Севастополь	28	359 748	78
5	Ямало-Ненецкий автономный округ	72	1 084 931	66
6	Чукотский автономный округ	2	36 918	55
7	Приморский край	1	1 526 298	0,7
8	Саратовская область	1	1 987 113	0,5
9	г. Санкт-Петербург	2	4 459 846	0,5

В течение последних лет Минздравом России была организована трехуровневая система оказания медицинской помощи [12].

Медицинские организации первого уровня осуществляют оказание преимущественно первичной медико-санитарной, в том числе первичной специализированной медицинской помощи, а также специализированной и скорой медицинской помощи. Медицинские организации первого уровня осуществляют комплекс мероприятий, включающий первичную профилактику, раннюю, наиболее распространенную и минимально затратную диагностику, лечение заболеваний и состояний без использования сложных и ресурсоемких методов, медицинскую реабилитацию, паллиативную помощь, наблюдение за течением беременности, формирование здорового образа жизни и санитарно-гигиеническое просвещение населения.

Второй уровень – оказание преимущественно специализированной (за исключением высокотехнологичной) медицинской помощи в медицинских организациях, имеющих в своей структуре специализированные межмуниципальные (межрайонные) отделения и (или) центры, а также в диспансерах, многопрофильных и специализированных больницах. Медицинские организации второго уровня осуществляют комплекс мероприятий, включающий специальную диагностику и лечение заболеваний и состояний с использованием распространенных и отдельных сложных ресурсоемких, но не относящихся к высокотехнологичным видам, методик, а также медицинскую реабилитацию.

Медицинские организации третьего уровня оказывают преимущественно специализированную, в том числе высокотехнологичную, медицинскую помощь, применяют для диагностики и лечения уникальные сложные и ресурсоемкие методы с научно доказанной эффективностью.

В соответствии с паспортом федерального проекта «Развитие сети национальных медицинских исследовательских центров и внедрение инновационных медицинских технологий» принцип функционирования НМИЦ как «головных» организаций основан на взаимодействии с «якорными» краевыми, республиканскими, областными, окружными медицинскими организациями в каждом субъекте РФ по определенному для центра профилю оказания медицинской помощи, которые, в свою очередь, должны транслировать результаты проведенной работы в части организации оказания медицинской помощи по профилю в другие медицинские организации региона [13].

Наибольшее количество запросов (85%) поступает в НМИЦ гематологии из прикрепленных («якорных») медицинских организаций 3 уровня субъектов РФ. Вместе с тем, в ряде случаев (14%) НМИЦ гематологии оказывает консультативную поддержку

Рис. 4. **Распределение проведенных НМИЦ гематологии в 2019 г. ТМК по нозологиям (N = 1188)**
ЛПЗ – лимфопролиферативные заболевания,
Ph-ХМПЗ – Ph-негативные хронические миелопролиферативные заболевания.

и медицинским организациям 1 и 2 уровней, так как в некоторых субъектах РФ гематологические стационары расположены на базе данных медицинских организаций. Помимо региональных медицинских организаций, НМИЦ гематологии оказывает консультативную помощь другим федеральным центрам, в том числе НМИЦ, а также медицинским организациям Донецкой, Луганской областей Украины.

Профиль ТМК, проведенных НМИЦ гематологии в 2019 г., включает все нозологические формы заболеваний системы крови, а также сложные дифференциально-диагностические случаи, требующие мультидисциплинарного подхода. Анализ распределения ТМК по нозологическим формам показал, что преобладали запросы по диагностике и лечению опухолевых заболеваний системы крови: ходжкинские и неходжкинские лимфомы (27%), острые лейкозы (13%), множественная миелома (13%), хронические миелопролиферативные заболевания (7%). Из неопухолевых заболеваний системы крови (более 7% от всех ТМК) наибольшую долю составили случаи наследственных и приобретенных коагулопатий *(рис. 4)*.

Анализ накопленных и систематизированных данных по нозологическому профилю ТМК позволяет сформировать определенное представление о лечебно-диагностических возможностях профильных медицинских организаций в каждом отдельно взятом субъекте РФ. Так, среди запросов из Тамбовской области преобладали ТМК по коагулопатиям; из Алтайского края – по лимфомам и острым лейкозам, при этом запросов по коагулопатиям не поступало, что можно объяснить наличием в г. Барнаул филиала НМИЦ гематологии, специализирующегося на диагностике и лечении коагулопатий. Интересно отметить, что запросов по коагулопатиям не поступало и из Тульской области, которая не располагает подобным Центром.

Ежегодно по результатам ТМК, примерно в 7% случаев, принималось решение о направлении пациентов для дообследования и лечения в НМИЦ гематологии.

На основании 5-летнего опыта работы ФТКЦ НМИЦ гематологии можно выделить ряд факторов, затрудняющих своевременное проведение ТМК:

- недостатки оформления медицинской документации (недостаточно подробное описание анамнеза, объективного статуса пациента, проведенного лечения, в том числе оценки его эффективности);

- отсутствие полного спектра диагностических исследований, необходимых для верификации диагноза и определения тактики ведения пациента. В подобных случаях консультанты вынуждены запрашивать дополнительные данные, что удлиняет время, необходимое для верификации диагноза и назначения/коррекции лечения;

- позднее обращение за консультацией (например, после многочисленных курсов химиотерапии, в случае развития резистентности заболевания).

Модель дистанционного взаимодействия «врач-врач» включает несколько типовых сценариев ТМК как на межрегиональном уровне (федеральный центр – регион), так и в пределах региона [14]:

1) Уточнение диагноза; в этом случае результатом ТМК может быть:

- консультация данных радиологических исследований и/или сканированных изображений гистологических препаратов;
- рекомендации по дообследованию пациента по месту жительства с последующей повторной ТМК;
- направление пациента на очную консультацию.

2) Коррекция тактики лечения; медицинское заключение федерального центра может быть необходимо для получения дорогостоящих препаратов, назначения препаратов офф-лейбл.

3) Определение возможности госпитализации в медицинские организации более высокого уровня – профильная маршрутизация пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая почти 5-летний опыт работы ФТКЦ НМИЦ гематологии по организации и оказанию медицинской помощи с применением телемедицинских технологий, можно сделать следующие выводы:

- Отмечается прогрессивное увеличение количества медицинских организаций, активно использующих телемедицинские технологии с целью повышения качества оказания и доступности медицинской помощи, что отражается в увеличении количества проведенных ТМК НМИЦ гематологии в 2019 году – в 7 раз больше по сравнению с 2018 годом.

- Дистанционное консультирование позволяет региональным медицинским организациям оперативно получить консультацию высококвалифицированных специалистов федерального центра в сложной клинической ситуации, а при необходимости провести консилиум экспертов (в том числе междисциплинарный, а также с участием нескольких федеральных центров). Важными преимуществами использования телемедицинских информационных систем являются

защищенный канал передачи информации, а также легитимность медицинских заключений врачебного консилиума, являющихся итогом ТМК.

- ТМК содействуют осуществлению прецизионной диагностики заболеваний системы крови, корректной логистики биологических образцов, сокращению времени постановки диагноза, своевременному началу лечения, оптимизации маршрутизации пациентов на региональном и федеральном уровнях, в итоге приводя к снижению рисков летального исхода.

- Накопление данных, собираемых в ходе осуществления ТМК, позволяет проводить их статистический анализ не только в административно-организационных, но и научных целях. Уже сейчас в базе данных отдела телемедицины собрана информация о тысячах ТМК. Их анализ позволит в будущем делать также некоторые косвенные эпидемиолого-популяционные оценки и выводы [15].

- Непосредственное участие специалистов региональных медицинских организаций в консультациях/консилиумах, в том числе в видеоконсультациях в режиме реального времени, способствует повышению их профессионального уровня, предоставляя возможность общения с ведущими экспертами, приобретению необходимого клинического опыта. Процесс подготовки медицинской документации и формирования запроса на ТМК является элементом самообучения. Таким образом, применение телемедицинских технологий предоставляет возможности для профессионального развития и обучения, позволяя специалистам преодолеть профессиональную изоляцию, с которой они сталкиваются в отдаленных районах, и способствует повышению качества и доступности медицинской помощи в регионе.

- В свою очередь, медицинские организации, осуществляющие ТМК, имеют возможность накапливать, систематизировать и анализировать клинические и лабораторные данные, сведения об оснащении гематологических и смежных подразделений медицинских организаций, уровне лекарственного обеспечения, организационно-методического регулирования, в том числе касательно вопросов маршрутизации пациентов и лабораторных образцов, что позволяет получить комплексное представление о нозологическом профиле пациентов, лечебно-диагностических возможностях, качестве и эффективности оказания профильной медицинской помощи в регионах, уровне профессиональной подготовки региональных специалистов, основных проблемных вопросах, имеющих место в том или ином субъекте РФ. Комплексная оценка накапливаемого материала создает условия для формирования обоснованных предложений по совершенствованию тех или иных аспектов оказания медицинской помощи. Разработка схем эффективной маршрутизации и соответствующих нормативно-правовых актов позволяет повысить скорость диагностики и качество лечения пациентов с заболеваниями системы крови.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владзимирский А.В.* Телемедицина: Curatio Sine Tempora et Distantia. М.: Aegitas. 2016. – 663 с.
2. Концепция развития телемедицинских технологий в Российской Федерации (утверждено приказом Минздрава России и РАМН от 27.08.2001 № 344/76).
3. Государственная программа развития здравоохранения Российской Федерации утверждена Распоряжением Правительства РФ № 2511-р от 24.12.2012).
4. Федеральный закон от 29.07.2017 № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья».
5. Приказ Минздрава России от 30.11.2017 № 965н «Об утверждении Порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий».
6. Паспорт национального проекта «Здравоохранение» (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16) https://base.garant.ru/72185920/.
7. Приказ Минздрава России от 11.09.2017 № 622 «О сети национальных медицинских исследовательских центров».
8. Приказ Минздрава России от 13.03.2019 № 125 «Об утверждении Положения о формировании сети национальных медицинских исследовательских центров и об организации деятельности национальных медицинских исследовательских центров».

9. *Гармаева Т.Ц., Джулакян У.Л., Куликов С.М., Лазарева О.В., Зайцев Д.А., Герасимова И.Р. и др.* Основные функции национальных медицинских исследовательских центров по организационно-методическому руководству профильными медицинскими организациями (МО) субъектов РФ в рамках выполнения приоритетных федеральных проектов национальной программы «Здравоохранение» до 2024 года. // Гематология и трансфузиология. – 2020. – Т. 65 (S1). – С. 24–25.
10. *Лукина К.А., Зайцев Д.А., Данилина А.М., Гармаева Т.Ц.* Телемедицина: опыт ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России. // Гематология и трансфузиология. – 2020. – Т. 65 (S1). – С. 85.
11. *Зайцев Д.А., Лукина К.А., Данилина А.М., Лазарева О.В., Герасимова И.Р., Малолеткина Е.С. и др.* Выездные мероприятия ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России и дистанционное взаимодействие с профильными медицинскими организациями (МО) субъектов РФ. // Гематология и трансфузиология. – 2020. – Т. 65 (S1). – С. 71.
12. *Линденбратен А.Л., Горбунков В.Я., Панченко И.А.* Вопросы эффективности внедрения трехуровневой системы оказания медицинской помощи в Российской Федерации. // Вестник Росздравнадзора. 2019 (6): 36–40.
13. Паспорт федерального проекта «Развитие сети национальных медицинских исследовательских центров и внедрение инновационных медицинских технологий».
14. *Гончаров С.Ф., Шилкин И.П., Быстров М.В.* Применение дистанционных телемедицинских технологий в деятельности лечебных медицинских организаций и полевых госпиталей службы медицины катастроф: Учебное пособие для врачей. М.: ФГБУ ВЦМК «Защита» Минздрава России, 2016. – 118 с.
15. *Гармаева Т.Ц., Русинов М.А., Зайцев Д.А., Коновалова А.А., Очирова О.Е., Лудупова Е.Ю. и др.* Теоретические вопросы организации региональных регистров заболеваний системы крови. // Вестник последипломного медицинского образования. 2016 (4): 9–15.

Новости отрасли

ПРАВИТЕЛЬСТВО ВЫДЕЛИТ 898,5 МЛН. РУБЛЕЙ НА РАЗВИТИЕ ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ (ЕГИСЗ)

Средства будут направлены на достижение следующих результатов:

• создание информационного ресурса для предоставления медицинским работникам доступа к актуальным клиническим рекомендациям, справочникам лекарственных препаратов, передовым знаниям отечественной и мировой доказательной медицины в рамках подсистемы единой системы «Федеральный реестр нормативносправочной информации в сфере здравоохранения»;

• обеспечение визуализации и автоматизированной аналитической обработки данных в рамках подсистемы автоматизированного сбора информации о показателях системы здравоохранения из различных источников и представления отчетности;

• обеспечение прогнозирования значений показателей здоровья, связанных с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19), на основе обезличенных сведений, а также обеспечение возможности использования обезличенных сведений для создания алгоритмов и методов машинного обучения в целях формирования системы поддержки принятия врачебных решений и применения технологий искусственного интеллекта в рамках подсистемы единой системы «Федеральная интегрированная электронная медицинская карта»;

• увеличение мощности федерального центра обработки данных единой системы более, чем на 50 процентов за счет закупки оборудования, обеспечивающего в том числе возможность использования обезличенных сведений для создания алгоритмов и методов машинного обучения в целях формирования системы поддержки принятия врачебных решений и применения технологий искусственного интеллекта.

Источник: Telegram-канал «ИТ в медицине», https://t.me/it_medicine

Л.М. САМКОВ,
к.т.н., доцент, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия,
e-mail: parzefal@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6545-7154

ЛОГИКА МЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЕ

УДК: 61:007 004.032.26 510.644 *DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-78-85*

Самков Л.М. ***Логика ментальных моделей в доказательной медицине*** *(Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия)*

Аннотация. Поставлена актуальная задача дополнения интеллектуальных систем доказательной медицины технически реализованными ментальными моделями. Посредством этих моделей осуществляется осмысление пользователем результатов цифровых моделей в системах Больших Данных. Уточнены понятия, относящиеся к этой проблематике. Определена элементная база нейронных сетей для реализации ментальных моделей. Предложен вариант непрерывной логики ментальных моделей. Построены функциональные выражения сверток входных сигналов искусственных нейронов. Определены базовые операции для использования в вычислительной архитектуре нейронной сети. Намечены перспективы развития этой проблематики.

Ключевые слова: *ментальная модель, нейронная сеть, непрерывная логика, мемристор, синаптический транзистор, нейрокомпьютер.*

UDC: 61:007 004.032.26 510.644

Samkov L.M. ***The Logic of mental models in evidence-based medicine*** *(Khanty-Mansi State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia)*

Abstract. The actual task of supplementing intelligent systems of evidence-based medicine with technically implemented mental models is set. Using these models, the user understands the results of digital models in Big Data systems. Clarified concepts related to this issue. The electronic components of neural networks for the implementation of mental models is defined. A variant of continuous logic of mental models is proposed. Functional expressions of convolutions of input signals of artificial neurons are constructed. The basic operations for use in the computational architecture of a neural network are defined. Prospects for the development of this issue are outlined.

Keywords: *mental model, neural network, continuous logic, memristor, synapstor, neurocomputer.*

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации систем больших данных и цифровых моделей ключевое значение имеет осмысление результатов моделирования. В компьютеризованной лечебной деятельности пользователь осуществляет это, используя свои ментальные модели. Это позволяет обеспечить обоснованность (доказательность) принимаемых решений.

В системах искусственного интеллекта следует осуществить, частично или полностью, техническую реализацию ментального моделирования. Для этого нужны нейроморфные устройства, бионически подобные нейронным сетям, а в перспективе и мозгу. Попытки создания искусственных нейронных сетей предпринимались еще полвека назад, но при тогдашнем уровне технологии они не увенчались успехом и развитие пошло по пути программной имитации нейронных сетей на цифровых компьютерах.

В настоящее время происходит бурное развитие нейроморфных устройств. Например, фирма Хьюлетт-Пакард в 2008 году создала наноразмерное устройство – мемристор, функции которого неотличимы от функций природного нейрона. Однако нейронная сеть, масштабно сопоставимая с мозгом, должна содержать миллиарды таких мемристоров. Кроме того, требуется создать адекватную архитектуру и вычислительную логику для реализации ментальных моделей на подобных нейроморфных устройствах. Этой задаче посвящена настоящая статья.

© Л.М. Самков, 2020 г.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Принятие решений в любой, в том числе лечебной, деятельности опирается на знания об объектах, которые в этой деятельности нужно исследовать, изменять или управлять ими [1]. Согласно Новой философской энциклопедии [2, Т. 2, С. 51],

ЗНАНИЕ – это форма социальной и индивидуальной памяти, свернутая схема деятельности и общения, результат обозначения, структурирования и осмысления объекта в процессе ***познания***. <. . . > знание характеризуется через противоположность ***мнению***. Глубокое, полное и совпадающее с объектом знание противопоставляется поверхностному, фрагментарному и отклоняющемуся от подлинной реальности знанию, <. . . > – ***заблуждению***.

В лечебной деятельности приходится сталкиваться с ворожеями, экстрасенсами, молитвенными ритуалами, гомеопатией и т.п. практиками, которые несут угрозу здоровью и жизни пациента. Проблема устранения знаний, отклоняющихся от реальности, привела к необходимости доказательной (научной) медицины.

Эмпирические, экспериментальные и теоретические знания получают в результате проведения соответственно наблюдений, экспериментов, моделирования. ***Теоретическое знание*** [2, Т. 4, С. 42] об объекте позволяет получить его целостное отражение в мышлении человека – его ***модель***.

Моделирование замещает объект его знаковой (информационной) или предметной (материальной) моделью [3, С. 822].

Информационные и материальные модели реализуются соответственно цифровыми и аналоговыми компьютерами. Компьютер может быть техническим устройством или природным (биологическим). Технические компьютеры, как правило, являются цифровыми. Биологические, например, мозг, осуществляют обычно аналоговое восприятие и обработку информации. Однако наличие второй сигнальной системы и языка привело к использованию человеческим мозгом также знаковых моделей [4, С. 207], которые, однако, являются вербальными, а не цифровыми.

Для моделей, носителем которых является мозг, принято использовать термин «ментальные модели» [13]. Они являются инструментами создания теоретических моделей как результатов осмысления наблюдательных и экспериментальных данных [14, p. 6.3.4.1, p. 6.3.4.2]. В статье [1] используется термин «рассуждения» для обозначения элементов интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Он как раз подчеркивает вербальный характер ментальных моделей.

Попытки создания технических средств, осуществляющих ментализацию цифровых моделей предпринимались еще полвека назад [5]. Адекватная техническая база в те времена отсутствовала, но уже проводились разработки по ментализации систем управления базами данных. В статье автора [6, С. 53] изложена основанная на общей теории систем реляционная модель данных и средств их аналитической обработки. Дан прогноз развития информационных систем, который во многом реализовался. В том же 1970 году Е.Ф. Кодд создал теорию реляционных моделей, ставшую стандартом последующих разработок баз данных [7]. Текст этой статьи как раз является примером «гибридизации» цифровых и вербальных моделей. Развитие такой методологии привело к созданию Систем Больших Данных (СБД), оснащенных мощными аналитическими инструментами, образующими Систему Цифровых Моделей (СЦМ) – статистический анализ, Data Mining, средства искусственного интеллекта, текстовая аналитика, нейронные сети и т.п. При их эксплуатации эксперт использует свои ментальные модели, в совокупности образующие Систему Ментальных Моделей (СММ).

Как правило, СЦМ предназначена для решения ограниченного множества задач. Но, кроме того, она может включать библиотеку цифровых моделей универсального назначения, например, моделей математической статистики. Эксперт, в свою очередь, в своей СММ может использовать в качестве библиотеки ментальных моделей собственные стереотипы мышления и поведения.

Медицинская СЦМ оперирует ресурсами различных СБД [8], включающих результаты клинических экспериментов, генетические паспорта, электронные истории болезни миллионов людей и т.п. Соответствующий обзор приведен в [9]. Врач в процессе лечения располагает ментальной моделью пациента, которая опирается на наблюдения (врачебный опыт) и результаты клинических экспериментов.

Ментальная модель может оказаться некорректной. У разных врачей могут формироваться различные ментальные модели одной и той же лечебной ситуации. Они могут приводить к ошибкам, которые обусловлены не только качеством модели, но и погрешностями наблюдений и экспериментов. Однако эти ошибки имеют иную природу, чем ошибки вненаучного «знания». Их можно верифицировать, используя стандартную методику

научных исследований и повышая квалификацию врачей. В конечном итоге формируется доказательная вербальная СММ.

Интуиция врача порою непостижимым образом соединяется с результатами математически обработанных данных приборных анализов и результатами статистического анализа, в результате чего обеспечивается доказательность заключений и принимаемых решений.

Создание биокомпьютерных ментальных устройств, имитирующих интуицию и «глубинное знание» мозга с одной стороны, и системы цифрового программирования с другой, позволит освоить упомянутую «непостижимость» интуиции врача.

Последние события показали недостаточность лечебной инфраструктуры – как материальной (больницы, оборудование, медикаменты), так и информационной (знания, воплощенные в СБД и СММ). Обсуждается даже использование технологий Интернета вещей (IoT) для компенсации недостаточного профессионализма врачей-волонтеров[15]. Это «недостающее звено» должно быть воплощено в стационарном устройстве (автоматизированный врач-диагност), которое можно просто выключить после окончания эпидемии.

Целью настоящего исследования является разработка логико-математических методов создания ментальных моделей, воплощенных на материальных носителях, допускающих интеллектуальную обработку результатов цифровых моделей при эксплуатации медицинской СБД.

2. ЭЛЕКТРОННЫЕ НОСИТЕЛИ МЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Развитие компьютеров пошло по цифровому, а не аналоговому пути, это затрудняет создание устройств, непосредственно имитирующих функции мозга. Искусственные нейронные сети, показавшие свою эффективность при решении многих задач, обычно имеют цифровую, а не аналоговую реализацию.

Создатель стандартной архитектуры современных компьютеров фон Нейман указывал на возможность реализации математических операций не только цифровыми, но и аналоговыми средствами на основе искусственных нейронных сетей [10]. В качестве примера базовых операций он указал не только сложение и умножение, но и такие, как например $f(x, y)=1 - xy$ и $g(x, y) = 1 - \alpha(x - y)$ [10, С. 132]. Однако отметил, что, ввиду ненадежности элементов это возможно только в больших системах [10, С. 129].

Цифровые компьютеры реализуют булеву логику совокупностью релейных элементов, состояния которых могут принимать только два значения проводимости – нуль и бесконечность. Если же их заменить резисторами с промежуточными значениями проводимостей, то такая сеть реализует непрерывную логику проводимостей. Она будет рассмотрена в четвертом разделе. Но для нее нужна адекватная элементная база. Обычные резисторы или транзисторы не могут быть использованы, поскольку управлять их состояниями (значениями проводимости) затруднительно.

Подходящие элементы – мемристоры были теоретически предсказаны в 1971 году Леоном Чуа как «недостающий четвертый элемент» электрических цепей (в дополнение к резистору, конденсатору и индуктивности), который способен изменять свою проводимость в зависимости от величины прошедшего через него заряда.

Этот, вначале теоретический, объект был материально воплощен в виде наноразмерного устройства фирмой Хьюлетт-Пакард в 2008 году. Он позволяет осуществлять управление электрической проводимостью на молекулярном уровне.

В качестве перспективных направлений развития мемристоров предполагается их использование как запоминающих устройств емкостью на несколько порядков большей, чем существующие, а также в качестве элементов нейронных сетей [11]. В перспективе просматривается возможность их гибридизации с мозгом [16]. Этому способствует присущее мемристорам свойство дендритной пластичности, которое было положено в основу третьего поколения искусственных нейронных сетей – спайковых [17].

Предпринимаются попытки создания гибридных органо-неорганических элементов – синапсторов (синапс-транзистор), реализующих функции как мемристоров, так и биологических нейронных объектов [18]. Все это дало основание изобретателю мемристора Леону Чуа утверждать:

"Since our brains are made of memristors, the flood gate is now open for commercialization of computers that would compute like human brains, which is totally different from the von Neumann architecture underpinning all digital computers."

«Поскольку наши мозги состоят из мемристоров, открываются перспективы промышленного производства таких же компьютерных мозгов, работающих совсем не так, как цифровые компьютеры, основанные на архитектуре фон Неймана» [19].

Биологический мозг является большой системой, состоящей из миллиардов нейронов. Поэтому для получения ощутимых результатов техническую систему, выполняющую те же функции, нужно строить по-крупному, а не имитировать работу небольших искусственных нейронных сетей на цифровых компьютерах для решения отдельных задач, как это сейчас делается.

Микропроцессор современного компьютера содержит десятки миллиардов транзисторов на одном чипе. Проектирование такого устройства возможно только автоматизированное, при этом одновременно проектируется и устройство для монтажа такого чипа. Подобная инфраструктура должна быть создана для проектирования и монтажа мемристорного мозга.

Промежуточные полезные результаты могут быть получены при проектировании функциональных аналогов природных нейронов в нейробионических устройствах, например, предназначенных для нейропротезирования.

3. ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Термин «Доказательная медицина» или «Evidence-based_medicine» появился в конце 60-х годов и получил затем широкое распространение. Появились аналогичные понятия в других областях, например, «Доказательное образование» и «Доказательная политика». В совокупности они образуют категорию Википедии «Практики, основанные на доказательствах». В англоязычной Википедии категория «Evidence-based practices» включает 43 статьи.

Термин «доказательство» в Большом энциклопедическом словаре содержится в определениях двух близких по смыслу понятий [3, С. 403]:

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА (в праве) – фактические данные об обстоятельствах, имеющих значение для правильного разрешения уголовного или гражданского дела. Содержатся в показаниях, вещественных доказательствах, заключениях экспертов, протоколах и др. Различают доказательства прямые и косвенные (улики). Ни одно из доказательств не имеет преимущественного значения.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО, установление (обоснование) истинности высказывания, суждения, теории. В логическом доказательстве аргументация проводится по правилам и средствам логики.

В первом понятии подразумевается наличие множества доказательств, которые инициируют различные ментальные модели у различных субъектов. При одном и том же наборе доказательств присяжные заседатели или депутаты могут иметь разные мнения. В лечебной практике подобное происходит при проведении консилиумов.

Второе понятие относится к математическим доказательствам, адекватным средством реализации которых являются цифровые компьютеры.

Для терминологического разграничения этих двух понятий будем их именовать соответственно «ментальные доказательства» и «цифровое доказательство».

Цифровое (математическое) доказательство устанавливает «тождественную истинность» [2, С. 1338], которая не зависит от субъекта и принимает лишь два значения «Истина» и «Ложь».

В отличие от других разновидностей доказательных подходов, в доказательной медицине, помимо наблюдений (в правоведении это – прецеденты) широко используются специально спланированные клинические эксперименты, чего нет в других доказательных практиках.

Осмысление пользователем результатов экспериментов предоставляет доказательную основу ментальным моделям, которыми он оперирует. Но эти результаты принимаются на веру, а не воспринимаются как непреложная истина. Сама математическая статистика дает оценки степени доверия, используя такие критерии, как «Доверительный интервал», «Доверительный предел», «Доверительная граница». Ментальное моделирование принятия решений связано с такими понятиями математической статистики, как ошибки первого и второго рода. Ошибка первого рода – это ложная тревога, когда здорового человека по результатам теста признают больным; ошибка второго рода возникает, если фактически имеющуюся болезнь тест не выявил. В медицине используются также термины «ложноположительные и ложно-отрицательные результаты».

В качестве базового элемента выберем искусственный нейрон [20]. На его вход поступает множество импульсов x_j, которые предварительно преобразуются в один входной сигнал, являющийся их взвешенной суммой. Нейрон перерабатывает входной сигнал в выходные сигналы y_k, путем применения к нему передаточной функции φ:

$$y_k = \varphi\left(\sum_{j=0}^{m} w_{kj} x_j\right).$$

Сигналы y_k являются входными сигналами других нейронов. В качестве φ используют различные функции – сигмовидную, пороговую и т.п. Именно

в этом проявляется аналоговый характер биологических нейронных сетей и мозга. Дискретные входные сигналы, для которых напрашивается применение булевых логических операций и цифровой архитектуры, в биологической нервной системе обрабатываются все же аналоговым способом – как взвешенная сумма.

Использование адекватных технических средств позволяет реализовать, кроме взвешенной суммы, также другие способы свертки входных сигналов (операции), имеющие ясный логический смысл и являющиеся обобщениями булевых операций.

Определим три типа операций на основании влияния аргументов на значения свертки. Множество значений аргументов ограничено минимальным и максимальным значениями, которые интерпретируются в отношении позитивного вербального суждения «Получен успешный результат» соответственно как «Ложно» и «Истинно». Кроме того, будет использоваться медианное значение, расположенное между минимальным и максимальным («Несущественно»).

Дизъюнкция. Добавление аргумента, имеющего максимальное значение, дает максимальное значение свертки. Добавление аргумента, имеющего минимальное значение, не влияет на нее.

Примеры:

- При терминальном состоянии обезвоживания организма ввести пациенту внутривенно достаточное количество изотонического раствора (20 мл/кг/час). То есть добавление аргумента, имеющего оценку «Истинно» приводит к значению свертки, также имеющему оценку «Истинно».
- Пусть условием решения задачи транспортировки является наличие 20 литров бензина. Имеется несколько неполных емкостей. Если добавим полную канистру объемом 20 литров, задача разрешима. («Истинно» → «Истинно»).

Конъюнкция. Добавление аргумента, имеющего минимальное значение, дает минимальное значение свертки. Добавление аргумента, имеющего максимальное значение, не влияет на нее.

Примеры:

- Врачи убивали царевича Алексея, больного гемофилией, аспирином, но появился Г. Распутин и всех их разогнал вместе с аспирином. Хотя ментальная модель Г. Распутина («замолить болезнь») была неверна, она позволила исключить применение другой неверной модели, которая наносила пациенту больший вред. («Ложно» → «Ложно»).
- «Оттого, что в кузнице не было гвоздя» – каузальная цепь суждений с транзитивным переносом оценки «Ложно» вдоль цепи. В общем же случае имеем каузальную сеть, аналогичную нейронной сети.

Медиация. Добавление аргумента, имеющего минимальное значение, дает минимальное значение свертки. Добавление аргумента, имеющего максимальное значение, дает максимальное значение свертки. Добавление аргумента, имеющего медианное значение, не влияет на значение свертки. Добавление двух аргументов – с минимальным и максимальным значениями дает минимальное значение свертки.

Примеры:

- В отсутствие надежных клинических данных применяются разнообразные лечебные средства, среди которых могут оказаться:
  - опасные для пациента («Ложь»);
  - волшебно исцеляющие («Истина»);
  - малоэффективные («Несущественно»);
  - добавление опасного средства в условиях болезни не позволит высокоэффективному средству проявить себя.

Именно так в первой половине 2020 года проводилось лечение коронавирусных больных.

- Критерий того, является ли сооружение зданием, определяется наличием следующих элементов:
  - Фундамент: если его нет («Ложь») – здание рухнет.
  - Крыша: если она имеется («Истина»), объект называется зданием.
  - Балконы, окна и т.п. – их наличие или отсутствие («Несущественно») не оказывает влияния на значение критерия.
  - Если есть крыша, но отсутствует фундамент, здание не устоит.

4. НЕПРЕРЫВНЫЕ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Пусть аргументы принимают значения в некотором подмножестве S числового множества $P = [0, A]$. Определим гомоморфизмы F и G множества $I = [0, 1]$ во множество S, каждый из которых ставит в соответствие операции умножения на I некоторую операцию на множестве S.

Дизъюнкция $\vee$, обладающая свойствами $x \vee 0 = x$; $x \vee A = A$.

$$F(x): I \to S;\ F(x) = \frac{1-x}{\alpha - \lambda x};$$
$$\alpha = \frac{1}{A},\ \lambda \le \alpha$$
$$x_1 \vee x_2 = F\left(F^{-1}(x_1)F^{-1}(x_2)\right) =$$
$$= \frac{x_1 + x_2 - (\lambda + \alpha)x_1x_2}{1 - \lambda\alpha x_1 x_2}.$$

Конъюнкция $\wedge$, обладающая свойствами $x \wedge 0 = 0$; $x \wedge A = x$.

$$G(x): I \to S;\ G(x) = \frac{\nu x}{1-(1-\nu\alpha)x};\ \nu \ge 0$$
$$x_1 \wedge x_2 = G\left(G^{-1}(x_1)G^{-1}(x_2)\right) =$$
$$= \frac{x_1x_2}{\nu + (1-\nu\alpha)(x_1+x_2) - \alpha(1-\nu\alpha)x_1x_2}.$$

Эти две операции определяют параметризованную непрерывную логику на множестве S. В ней операция ***отрицания*** $\bar{x}$ задается функцией N: $S \to S$, обладающей свойством $N(N(x)) = x$, то есть $\bar{\bar{x}} = x$.

$$\bar{x} = N(x) = \frac{1 - \alpha x}{\alpha + (1-\alpha^2)x}.$$

Операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания при $\lambda + \nu = \alpha$ связаны законами де Моргана.

$$\overline{x_1} \vee \overline{x_2} = \overline{x_1 \wedge x_2};\quad \overline{x_1} \wedge \overline{x_2} = \overline{x_1 \vee x_2}.$$

Частные случаи:

- **Булева логика**, в которой истинность принимает значения «ложь» или «истина», им сопоставлены соответственно числа 0 и 1. Ее параметры $\alpha = 1$, $\lambda = 0$, $\nu = 1$.

$$x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2 - x_1x_2;\ x_1 \wedge x_2 = x_1x_2;$$
$$\bar{x} = 1 - x;\ x, x_1, x_2 \in \{0; 1\}.$$

- **Вероятностная логика** с параметрами $\alpha = 1$, $\lambda = 0$, $\nu = 1$. Аргументы лежат в единичном числовом сегменте x, x_1, $x_2 \in [0,1]$. Выражения для операций те же.
- **Логика проводимостей** с параметрами $\alpha = 0$; $\lambda = -0$, $\nu = 0$.

$$x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2;\ x_1 \wedge x_2 = \frac{x_1x_2}{x_1 + x_2};$$
$$\bar{x} = \frac{1}{x};\ x, x_1, x_2 \in [0, \infty].$$

Ее техническая реализация – мемристорные сети.

- **Релятивистская скорость** $A = c$, $\alpha = 1/c$, $\lambda = -1/c$, c – скорость света в вакууме.

$$x_1 \vee x_2 = \frac{x_1 + x_2}{1 + \frac{x_1x_2}{c^2}}.$$

Медиация

Определим гомоморфизм H множества неотрицательных чисел R во множество S, который ставит в соответствие операции умножения на R операцию $\cap$ на множестве S, со свойствами

$$x \cap 0 = 0;\ x \cap M = M;\ x \cap A = A;$$
$$0 \cap A = 0;\ M \in S,$$

тогда

$$H(x): R \to S;\ H(x) = \frac{(\mu - \alpha)x}{1 - \alpha x};$$
$$\mu = \frac{1}{M} \ge \alpha$$
$$x_1 \cap x_2 = H\left(H^{-1}(x_1)H^{-1}(x_2)\right) =$$
$$= \frac{(\mu - \alpha)x_1x_2}{1 - \alpha(x_1 + x_2) + \alpha\mu x_1x_2}.$$

Частным случаем при $\alpha = 0$, $\mu = 1$, $H(x) = x$ является умножение положительных чисел.

А для определенной выше операции дизъюнкции частным случаем при $\lambda = \alpha = 0$ (логика проводимостей) является сложение положительных чисел.

То есть в мемристорной сети могут быть использованы обычные операции цифрового компьютинга.

Рассмотрим выражения сверток для определенных выше операций с несколькими аргументами.

Операции $\vee$, $\wedge$, $\cap$ ассоциативны и симметричны, поэтому можно определить n – местные операции:

$$\bigvee_{i=1}^{n} x_i = F\left(\prod_{i=1}^{n} F^{-1}(x_i)\right);$$
$$\bigwedge_{i=1}^{n} x_i = G\left(\prod_{i=1}^{n} G^{-1}(x_i)\right);$$
$$\bigcap_{i=1}^{n} x_i = H\left(\prod_{i=1}^{n} H^{-1}(x_i)\right).$$

Для аддитивной операции $\vee$ определим понятие кратного значения аргумента x:

$$(n)x = F\left(\left(F^{-1}(x)\right)^n\right),$$

где n – натуральное число. При $\lambda = \alpha = 0$ (обычное сложение) имеем $(n)x = nx$, то есть умножение на константу n.

Для операций $\wedge$, $\cap$ определим степени:

$$x^{(n)} = G\left(\left(G^{-1}(x)\right)^n\right);$$
$$x^{[n]} = H\left(\left(H^{-1}(x)\right)^n\right).$$

Для логики проводимостей $\alpha = \nu = 0$ и $x^{(n)} = x^n$.

Для операции медиации при $\alpha = 0, \mu = 1$ $x^{[n]} = x^n$.

Дробное кратное является решением уравнения $(m)\ y = (n)\ x$, то есть

$$\left(\frac{n}{m}\right) x = F\left(\left(F^{-1}(x)\right)^{\frac{n}{m}}\right).$$

Аналогичным образом определяются дробные степени.

Стандартным способом определяются рациональные и вещественные значения кратных и степеней.

Если суммы весов равны единице, получаем различные варианты средних величин – средневзвешенная сумма (среднее арифметическое), среднее геометрическое, среднее гармоническое и т.п.

Предложенный набор операций позволит не только расширить спектр вычислительных задач, решаемых искусственными нейросетями, но и обогатить функциональность природных нейронов в нейробионических системах, особенно в средствах нейропротезирования [16].

Прототипом предложенной разновидности непрерывной логики является разработка, выполненная автором в НПП «Восток» (Новосибирск) в рамках одного из первых проектов создания нейрочипа [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация в едином комплексе систем больших данных, цифровых и ментальных моделей даст следующие положительные эффекты:

- экономия ресурсов;
- сокращение времени постановки диагнозов;
- повышение эффективности лечения;
- повышение достоверности и обоснованности решений.

Важнейшим значением будет использование ментальных моделей в интеллектуальных системах, таких как:

- роботизированные системы для проведения интенсивной терапии и хирургических операций;
- системы имитационного моделирования при клинических исследованиях для определения оптимальных режимов лечения;
- обучающие тренажеры, способствующие обогащению практического опыта и формированию интуитивных навыков врача;
- системы интерактивного обучения для высших учебных заведений;
- системы дистанционного консультирования и телемедицины.

В настоящей статье для реализации ментальных моделей на нейроморфных устройствах предложен один из вариантов непрерывной логики, в частности:

- сформулирована постановка задачи;
- уточнены определения основных понятий; относящихся к данной проблематике;
- рассмотрены возможные электронные носители;
- сформулированы логические основы ментальных моделей доказательности суждений;
- построена соответствующая непрерывная логика;
- даны определения вычислительных операций, предназначенных для реализации ментальных моделей.

В следующих публикациях нами будет представлена вычислительная архитектура нейроморфной сети, основанная на предложенном варианте непрерывной логики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Реброва О.Ю.* Жизненный цикл систем поддержки принятия врачебных решений как медицинских технологий // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 1. – С. 26–34.
2. Новая философская энциклопедия. М.: Мысль, 2010. – Т. 1–4.
3. Большой энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия. – 2009.
4. *Лэнгтон Г.Р.* Разумный глаз – М.: Едиториал. – 2003.
5. *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. – М.: Мир, 1965.
6. *Самков Л.М.* Математическая информатика // Информатика и ее проблемы. – Новосибирск: Наука. – 1970. – № 1. – С. 52–65. – http://parzefal.com/library/08599.pdf. Доступ 17.06.2020.
7. *Кодд Е.Ф.* Реляционная модель данных для больших совместно используемых банков данных. http://citforum.ru/database/classics/codd/. Доступ 17.06.2020.

8. *Карнаухов Н.С., Ильюхин Р.Г.* Возможности технологий «BIG DATA» в медицине // Врач и информационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 59–63.
9. *Белышев Д.В., Гулиев Я.И., Малых В.Л., Михеев А.Е.* Новые аспекты развития медицинских информационных систем // Врач и информационные технологии. – 2019. – № 4. – С. 6–12.
10. Фон Нейман Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Автоматы. М.: ИЛ, 1956. – С. 68–139.
11. *Галушкин А.И.* Нейрокомпьютеры на базе мемристоров // Информатизация и связь. – 2013. – № 3. – С 156–165.
12. *Самков Л.М.* Теоретико-логический подход к построению целевых функций для задач оптимизации проектирования // Численные методы и задачи оптимизации. Томск: ТГУ, 1983. – С. 142–151 – http://parzefal.com/library/09014.pdf. Доступ 17.06.2020.
13. Mental_model. – https://en.wikipedia.org/wiki/Mental_model. Доступ 17.06.2020.
14. *Clement John J.* Creative Model Construction in Scientists and Students: The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation. Springer, 2008.
15. *Prajapati B.B., Parikh S.M., Patel J.M.* (2019) Effective Healthcare Services by IoT-Based Model of Voluntary Doctors. In: Mishra D., Yang XS., Unal A. (eds). Data Science and Big Data Analytics. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 16. Springer, Singapore, DOI: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7641-1_9
16. *Indiveri G., Linares-Barranco B., Legenstein R., Deligeorgis G., Prodromakis T.* Integration of nanoscalememristor synapses in neuromorphic computing architectures // Nanotechnology. – 2013. – Vol. 24. – № 38.
17. *Maas W.* Networks of spiking neurons: The third generation of neural network models // Trans. Soc. Comput. Simul. Int. – 1997. – Vol. 14. – P. 1659–1671.
18. *Alibart F. et al.* A memristive nanoparticle/organic hybrid synapstor for neuro-inspired computing // Advanced Functional Materials. – 2012. – Vol. 22. – P. 609–616.
19. HP Labs Discovery Holds Potential to Fundamentally Change Computer System Design. "Memristor" could enable computation on memory chips. www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?id=342185 Accessed 17.06.2020.
20. Искусственный нейрон. https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neuron Accessed 17.06.2020.

Новости отрасли

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ПАВЕЛ ПУГАЧЕВ В ИНТЕРВЬЮ «РОССИЙСКОЙ ГАЗЕТЕ» РАССКАЗАЛ О ПЛАНАХ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Все поликлиники и больницы должны быть подключены к единой информационной системе в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) к 2022 году, а медицинские полисы, рецепты и больничные – стать электронными к 2024 году. Будет развиваться телемедицина и сервис для пациентов «Мое здоровье» на ЕПГУ.

Полный текст интервью доступен тут: *https://rg.ru/2020/11/09/pugachev-do-konca-goda-na-portale-gosuslug-poiaviatsia-elektronnye-recepty.html*

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2020 Г.

ВИТ-1–2020

МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Данилов Г.В., Шифрин М.А., Струнина Ю.В., Пронкина Т.Е., Ишанкулов Т.А., Буров А.А., Дорофеюк Ю.А., Потапов А.А. Управление данными в клинических исследованиях: опыт НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко 6–14

Дроков М.Ю., Ибрагимова И.Т., Батрякова С.В., Дмитрова А.А., Васильева В.А., Кузьмина Л.А., Гузеватых А.П., Паровичникова Е.Н. Веб-портал как основа дистанционного мониторинга за состоянием пациентов после трансплантации аллогенных гемопоэтических стволовых клеток 15–20

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Егоров Д.Б., Захаров С.Д., Егорова А.О. Современные методы анализа и прогнозирования временных рядов и их применение в медицине 21–26

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Реброва О.Ю. Жизненный цикл систем поддержки принятия врачебных решений как медицинских технологий 27–37

Семенов В.А., Василенко И.В., Иванилова Т.Н. Автоматизация деятельности мультидисциплинарной реабилитационной бригады посредством программного пакета ICF WIZARD 38–44

Галченков А.С., Новицкий В.О., Кондратьев Е.А. Сервисы поддержки принятия решений по диагностике и лечению заболеваний и их практическое применение на примере ХБП 5Д 45–51

ТЕЛЕМЕДИЦИНА

Морозов С.П., Владзимирский А.В., Сименюра С.С. Качество первичных телемедицинских консультаций «пациент-врач» (по результатам тестирования телемедицинских сервисов) 52–62

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Чернега В.С., Еременко А.Н. Методы моделирования и прогнозирования длительности хирургических операций 63–74

ВИТ-2–2020

МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Васильева Т.П., Мелерзанов А.В., Алмазов А.А., Васильев М.Д., Александрова О.Ю. Оценка инновационности технологий здоровьесбережения населения 6–20

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Александрова О.Ю., Горенков Р.В., Васильева Т.П., Мелерзанов А.В., Дворина О.Г., Решетникова П.И., Якушин Д.М., Якушин М.А., Яроцкий С.Ю., Сошников С.С. Информатизация здравоохранения: от стандартов к экспертным системам 21–27

Алмазов А.А., Румянцев П.О., Купреев П.П., Мурашко М.М., Родин С.А., Мелерзанов А.В. Системы поддержки принятия врачебных решений; анализ мультимодальных данных, разница «человеческого» и «машинного» подходов, социальная проблематика сбора и оборота биомедицинских данных 28–35

ТЕЛЕМЕДИЦИНА

Фёдоров В.Ф., Столяр В.Л. Персональная телемедицина. Перспективы внедрения 36–44

Кадыров Ф.Н., Куракова Н.Г., Чилилов А.М. Правовые проблемы применения телемедицинских технологий в условиях борьбы с распространением коронавируса COVID-19 45–51

Владзимирский А.В., Морозов С.П., Сименюра С.С. Телемедицина и COVID19: оценка качества телемедицинских консультаций, инициированных пациентами с симптомами ОРВИ 52–63

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Мелерзанов А.В., Алмазов А.А., Трунин А.О., Римская Б.А., Александрова О.Ю. Подготовка кадров для цифрового здравоохранения и анализ профессиональных стандартов 64–71

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Чернега В.С., Еременко С.Н., Еременко А.Н., Тлуховская-Степаненко Н.П. Прогнозирование времени трансуретральной гольмиевой литотрипсии в лечении уролитиаза 72–80

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Куракова Н.Г., Цветкова Л.А., Черченко О.В. Технологии искусственного интеллекта в медицине и здравоохранении: позиции России на глобальном патентном и публикационном ландшафте 81–100

ВИТ-3-2020

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
Солоненко Т.А., Корогод М.А., Ялуплин М.Д. Механизм уведомления участкового врача в медицинской информационной системе при поступлении нового медицинского документа в региональную медицинскую информационную систему 6–12
МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
Клейменова Е.Б., Яшина Л.П. Роль медицинских информационных технологий в обеспечении безопасности пациентов 13–24
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ
Борбат А.М., Лищук С.В. Первый российский набор данных гистологических изображений патологических процессов молочной железы 25–30
СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
Дубовой И.И., Антонов К.А., Грин М.С. Совершенствование качества диспансеризации населения в амбулаторно-поликлиническом учреждении на основе применения информационных технологий . . . 31–40
Абдуллаев Н.Т., Пашаева К.Ш., Мусеви У.Н. Принятие диагностических решений с помощью нейронных сетей при нарушениях функционирования желудочно- кишечного тракта, вызванных влиянием паразитов 41–48
ТЕЛЕМЕДИЦИНА
Акулин И.М., Чеснокова Е.А., Пресняков Р.А., Прядко А.Е., Зимина Е.И., Гурьянова Н.Е. Порядок осуществления телемедицинских консультаций в субъектах Российской Федерации 49–59
Кобякова О.С., Стародубов В.И., Кадыров Ф.Н., Куракова Н.Г., Чилилов А.М. Экономические аспекты оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий 60–66
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ
Камышникова Л.А., Ефремова О.А, Ивахно Е.Н., Дуброва В.А. Мнение студентов-медиков об использовании симуляторов на занятиях 67–62
ОСОБОЕ МНЕНИЕ
Бацина Е.А., Попсуйко А.Н., Артамонова Г.В. Цифровизация здравоохранения РФ: миф или реальность? 73–80

ВИТ-4-2020

МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
Путинцев А.Н., Воинова В.Ю., Демикова Н.С., Лапина А.С. Веб-приложение «Врожденные пороки и аномалии развития»: оценка эффективности на основе обратной связи 6–13
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ
Морозов С.П., Владзимирский А.В., Ледихова Н.В. и др. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов 14–23
Гусев А.В., Новицкий Р.Э. Технологии прогнозной аналитики в борьбе с пандемией COVID19 . . . 24–33
Чернега В.С., Еременко А.Н., Еременко С.Н. Повышение точности прогнозирования длительности дробления мочевых конкрементов на основе многофакторных регрессионных моделей 34–42
ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
Кобринский Б.А., Долотова Д.Д., Донитова В.В., Гаврилов А.В. Радиологические изображения в построении гибридной интеллектуальной системы 43–50
СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
Гаврилов Д.В., Кирилкина А.В., Серова Л.М. Алгоритм формирования подозрения на новую коронавирусную инфекцию на основе анализа симптомов для использования в системах поддержки принятия врачебных решений 51–58
Китаева Э.А., Суетина Т.А., Абдулганиева З.А., Бакирова Э.А., Китаев М.Р. Информационная система добврачебной оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний 59–67
ТЕЛЕМЕДИЦИНА
Лукина К.А., Зайцев Д.А., Гармаева Т.Ц., Менделеева Л.П. Телемедицина как инструмент межрегионального дистанционного взаимодействия с профильными медицинскими организациями субъектов Российской Федерации: 5-летний опыт ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России 68–77
ОСОБОЕ МНЕНИЕ
Самков Л.М. Логика ментальных моделей в доказательной медицине 78–85

МИНЗДРАВ РЕКОМЕНДОВАЛ ПРИМЕНЯТЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНУ В АМБУЛАТОРНОМ ЛЕЧЕНИИ COVID-19

Министерство здравоохранения РФ рекомендовало регионам организовать медицинскую помощь пациентам, которые проходят лечение от коронавирусной инфекции на дому, с применением телемедицинских технологий. Об этом говорится в Приказе Минздрава РФ от 30.10.2020 № 1184н «О внесении изменений в приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 марта 2020 г. № 198н «О временном порядке организации работы медицинских организаций в целях реализации мер по профилактике и снижению рисков распространения новой коронавнрусной инфекции COVID-19», опубликованном на портале правовой информации по адресу: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011120037

«Организовать оказание медицинской помощи с применением телемедицинских технологий гражданам с подтвержденным диагнозом новой коронавирусной инфекции, <...> состояние которых позволяет наблюдаться на дому, а также с признаками или подтвержденным диагнозом внебольничных пневмоний, острыми респираторными вирусными инфекциями, гриппа», – говорится в приказе.

Согласно документу, взаимодействие врача и пациента может осуществляться с целью «коррекции ранее назначенного лечения при условии установления лечащим врачом диагноза и назначения лечения на очном приеме (осмотре, консультации), в том числе формирования электронного рецепта на лекарственный препарат с его последующим направлением пациенту посредством ЕПГУ». Листки нетрудоспособности и другие медицинские документы также могут быть сформированы в электронном виде.

Минздрав рекомендовал регионам обеспечить медицинские организации помещениями, средствами связи и оборудованием для проведения консультаций (консилиумов врачей), чтобы врачи могли взаимодействовать с пациентами. Также следует обеспечить необходимыми средствами связи и оборудованием врачей при удаленном режиме работы. Телемедицинские консультации рекомендовано проводить ежедневно, в круглосуточном режиме.

Регионам рекомендовано создать амбулаторные центры диагностики и лечения COVID-19 и организовать их взаимодействие с медицинскими организациями, которые оказывают скорую и иную медицинскую помощь в амбулаторных и стационарных условиях. Центры необходимо оснастить транспортом для доставки пациентов и медработников, а также для перевозки биоматериалов и лекарств.

Кроме того, в соответствии с приказом студенты медвузов после третьего курса могут брать тесты на COVID-19 у пациентов, которые лечатся на дому. «Допускается привлечение к оказанию медицинской помощи... лиц с высшим медицинским образованием, а также лиц, освоивших образовательную программу высшего медицинского образования в объеме трех курсов и более (по специальности «Сестринское дело» – двух курсов и более), после прохождения обучения по краткосрочным дополнительным профессиональным программам (не менее 36 часов)».

Источник: *Telegram-канал о цифровой трансформации здравоохранения https://t.me/medicalksu*

WEBIOMED

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ

принятия врачебных решений
с использованием методов
искусственного интеллекта

Возможности WebioMed

Автоматический анализ
медицинских данных,
в том числе электронных
медицинских карт

Выявление факторов
риска развития
заболеваний,
риск-стратификация
пациентов

Формирование индивидуального прогноза
наступления фатальных
и нефатальных осложнений
заболеваний по различным нозологиям

Формирование рекомендаций
по тактике ведения пациента
на основании национальных
клинических рекомендаций,
медицинских стандартов
и доказательной медицины

Популяционный анализ и прогнозы

Содействие клиническим исследованиям и поиску
неизвестных зависимостей
в электронных медицинских данных

Наш сервис могут использовать:

1	2	3	4	5
Медицинские информационные системы	Региональные системы	Сервисы для пациентов/ персональные электронные карты	Телемедицинские сервисы	Сервисы удаленного мониторинга пациентов
для оценки пациента и формирования подсказок врачу	для популяционного исследования и выявления факторов риска в регионе	для автоматической оценки данных пациента и формирования индивидуальных рекомендаций	для помощи в поддержке принятия решений во время телемедицинских консультаций	для выявления подозрений на наличие или развитие заболевания

E-mail: info@kmis.ru vk.com/webiomed facebook.com/webiomed twitter.com/webiomed

Врач и информационные технологии