Врач и информационные технологии

Научно-практический журнал

№2 2018

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

Уважаемые авторы и читатели «ВиИТ»!

Одним из методов исследования, использование которого может быть особенно эффективно при решении задач управления медицинской организацией, является моделирование. Прежде, чем изменять инфраструктуру, добавлять или закрывать структурные подразделения, закупать дорогостоящее оборудование, вносить существенные коррективы в штатное расписание целесообразно построить модель, имитирующую деятельность медицинской организации. Моделирование позволяет искать решение управленческих задач в защищенном от рисков мире моделей, в котором можно ошибаться, добавлять и отменять операции, возвращаться в прошлое и прогнозировать будущее, чтобы в конечном итоге находить оптимальные для существующих условий и ограничений решения. Построение достаточно точной цифровой модели медицинской организации, то есть ее описание на языке моделирования, позволяет заменить длительные и дорогостоящие управленческие эксперименты с использованием реальных ресурсов на быстрые и дешевые виртуальные эксперименты.

Имитационное моделирование широко используется в различных сферах человеческой деятельности (богатый опыт накоплен и в нашей стране (http://simulation.su/ru.html)), однако в сфере организации отечественного здравоохранения оно получило ограниченное распространение. Сотрудники профильных кафедр и институтов, ИТ-специалисты и менеджеры мало знакомы с современными возможностями систем имитационного моделирования. Отсутствует это направление и в проектах, связанных с созданием «Цифрового здравоохранения». В этой связи хотелось бы привлечь ваше внимание к первой в истории журнала работе по этой теме – к статье «Имитационное моделирование приемного отделения городской больницы: построение цифровой модели и оптимизация деятельности», подготовленной Красильниковым И.А. с соавторами. В следующих номерах журнала мы планируем дальнейшее развитие этой темы и публикацию новых интересных работ.

Редакция журнала «ВиИТ»

Врач и информационные технологии

№ 2
2018

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Стародубов В.И., д.м.н., профессор, академик РАН, директор 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, зам. директора по развитию компании «Комплексные медицинские информационные системы»

МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

А.В. Гусев

Перспективы дальнейшего развития службы медицинской статистики путем перехода к управлению на основе данных 6-22

БЛОКЧЕЙН В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

А.В. Курбесов, К.Х. Калугян

Актуальность применения технологии блокчейн в вопросах лекарственного обеспечения граждан 23-28

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.А. Халафян, Р.А. Виноградов, В.А. Акиньшина, А.А. Кошкаров

Система поддержки принятия решений при выборе тактики коррекции стеноза внутренних сонных артерий 29-38

ТЕЛЕМЕДИЦИНА

С.П. Морозов, А.В. Владзимирский, Н.В. Ледихова, Е.С. Кузьмина

«Перекрестные описания» – телерадиология по субспециализациям 39-47

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., главный специалист научно-информационного обеспечения РАН и регионов России ВИНИТИ РАН
Кудрина В.Г., д.м.н., профессор, доцент кафедры медицинской статистики и информатики 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., зав. кафедрой медицинской кибернетики и информатики ГБОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей» Минздрава России
Шульман Е.И., к.б.н., Научно-инновационная компания «Медицинские Информационные Технологии»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

К.А. Виноградов, В.В. Быкова, А.Н. Наркевич, А.В. Катаева

Сокращение признакового пространства в анализе множественной лекарственной устойчивости возбудителя у больных туберкулезом легких

48-57

И.А. Красильников, Н.М. Миронова, И.А. Соколова

Имитационное моделирование приемного отделения городской больницы: построение цифровой модели и оптимизация деятельности

58-70

Б.А. Кобринский, А.И. Молодченков, Н.А. Благосклонов, А.В. Лукин

Модель пациента с печеночной недостаточностью для использования в мета-анализе, ориентированном на подбор адекватной терапии

71-79

«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 и 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 «Красногорская типография»:
143405, Московская обл., Красногорский р-н, г. Красногорск, Коммунальный кв-л, д. 2
Тел. (495)562-04-33

Дата выхода в свет 01 мая 2018 г.
Общий тираж 2000 экз. Цена свободная.

© ООО Издательский дом «Менеджер здравоохранения»

Physicians and IT

№ 2
2018

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

MEDICAL INFORMATION SYSTEMS

A.V. Gusev

Prospects for the further development of the medical statistics service through the transition to management based on data 6-22

BLOCKCHAIN IN HEALTHCARE

A.V. Kurbesov, K.Kh. Kalugyan

Relevance of use of technology blockchain in questions of provision of medicines of citizens 23-28

DECISION SUPPORT SYSTEMS

A.A. Khalafyan, R.A. Vinogradov, V.A. Akin'shina, A.A. Koshkarov

Decision Support System for Choosing Correction Tactics of Internal Carotid Arteries Stenosis 29-38

TELEMEDICINE

S.P. Morozov, A.V. Vladzymyrskyy, N.V. Ledikhova, E.S. Kuzmina

«Cross-reporting» as a way for sub-speciality teleradiology 39-47

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

MATHEMATICAL METHODS

K.A. Vinogradov, V.V. Bykova, A.N. Narkevich, A.V. Kataeva

Reduction of the features space when processing multiple drug resistance of mycobacteria in patients with pulmonary tuberculosis 48-57

I.A. Krasilnikov, N.M. Mironova, I.A. Sokolova

Simulation of the admission department of the city hospital: building a digital model and optimizing the activity 58-70

B.A. Kobrinskii, A.I. Molodchenkov, N.A. Blagosklonov, A.V. Lukin

Model of the patient with liver failure for use in meta-analysis, focused on selection of adequate therapy 71-79

А.В. ГУСЕВ,
к.т.н., заместитель директора по развитию, компания «Комплексные медицинские информационные системы» (К-МИС), e-mail: agusev@kmis.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ СЛУЖБЫ МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ ПУТЕМ ПЕРЕХОДА К УПРАВЛЕНИЮ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ

УДК 614.2

Гусев А.В. ***Перспективы дальнейшего развития службы медицинской статистики путем перехода к управлению на основе данных*** *(Компания «Комплексные медицинские информационные системы», Петрозаводск, Россия)*

Аннотация. В статье проанализированы проблемы существующей в России системы сбора государственной статистической отчетности. Приведен обзор литературы и публикаций в СМИ и блогосфере, которые раскрывают имеющиеся недостатки медицинской статистики.

Предлагается постепенное развитие управления здравоохранением на основе данных с отказом от использования статистических отчетов. Ключевой идеей является постепенный отказ от применения существующих форм государственной статистической отчетности. Вместо этого следует создать и последовательно развивать систему поддержки принятия управленческих решений в сфере здравоохранения, представленную как один из федеральных компонентов ЕГИСЗ. В конечном счете такая система должна полностью заменить собой государственную статистическую отчетность, утверждаемую приказами Росстата, Минздрава, ФФОМС и других органов исполнительной власти, включая региональные органы управления, а также многочисленные разрозненные «мониторинги», «регистры» и другие федеральные управленческие системы, имеющиеся в настоящее время. Созданный единый федеральный сервис ЕГИСЗ должен аккумулировать в себе все необходимые для работы руководителей формализованные первичные данные, преимущественно в деперсонифицированном виде, из других компонентов ЕГИСЗ, таких как медицинские информационные системы медицинских организаций (МИС МО), региональные сервисы и системы ЕГИСЗ, информационные системы ТФОМС и т.д.

Ключевые слова: *медицинские информационные системы, системы поддержки принятия управленческих решений, СППУР, управление на основе данных, ЕГИСЗ, медицинская статистика*

UDC 614.2

Gusev A.V. ***Prospects for the further development of the medical statistics service through the transition to management based on data*** *(Complex Medical Information Systems Company, Petrozavodsk, Russia, Russia)*

Abstract. In the article the problems of the system of collection of state statistical reporting existing in Russia and the consequences to which they result are analyzed. A review of literature and publications in the media and the blogosphere is provided, which reveal the existing shortcomings of medical statistics.

The gradual development of health management based on data with the refusal to use statistical reports is proposed. The key idea is a gradual refusal to apply the existing forms of state statistical reporting. Instead, it is necessary to create and consistently develop a system of support for management decision-making in the health sector, presented as one of the federal components of the EGIS. Ultimately, such a system should completely replace state statistical reporting approved by the orders of Rosstat, Ministry of Health, FFOMS and other executive authorities, including regional government bodies, as well as numerous disparate "monitoring", "registers" and other federal management systems available in present time. The established single federal service EGISP should accumulate in itself all the formalized primary data, primarily depersonalized, from other components of the EGISP, such as medical information systems of medical organizations (MIS MO), regional services and EHISM systems, information systems of the TFOMS and etc.

Keywords: *medical information systems, management decision support systems, SPPRS, data management, EGIS, medical statistics*

© *А.В. Гусев, 2018 г.*

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день здравоохранение является одним из самых актуальных направлений в части совершенствования государственного управления. Перед отраслью стоят сложнейшие проблемы, связанные с финансированием и недостаточно эффективным использованием имеющихся денежных, кадровых и материальных ресурсов. Дефицит врачей и среднего медперсонала, несовершенство системы обязательного медицинского страхования (ОМС), многочисленные жалобы и недовольство населения уровнем и качеством оказания медицинской помощи делают работу руководителей отрасли сложнейшей многофакторной задачей.

Принятие адекватных мер по улучшению эффективности системы здравоохранения практически невозможно без своевременной системы поддержки принятия управленческих решений. В качестве одного из основных инструментов в управлении здравоохранением применяется служба медицинской статистики, которая по сути досталась нам еще с советских времен планово-экономического хозяйствования. С ее помощью выявляются ключевые проблемы отрасли, определяются приоритеты, ставятся конкретные задачи для более полного и рационального использования кадровых, финансовых и материально- технических ресурсов [5]. Очевидно, что для быстрого и эффективного исправления ситуации нужно адекватное и результативное управление, которое в свою очередь нуждается в модернизированном и отвечающем текущим реалиям инструменте – медицинской статистике.

Начиная с 2011 года, в России создается и развивается Единая государственная информационная система здравоохранения (ЕГИСЗ), основной целью которой в свое время было заявлено обеспечение эффективной информационной поддержки процесса управления системой медицинской помощи [3].

В предпосылках создания ЕГИСЗ говорится о том, что «в рамках управления здравоохранением реализованы в основном процессы обобщения и предоставления на вышестоящий уровень агрегированной информации. При этом отсутствует возможность, во-первых, проверить такую информацию на предмет достоверности, а, во-вторых, оперативно изменить состав и форму представления агрегированной информации в зависимости от характера решаемых управленческих задач. Информационные системы в здравоохранении проектируются и разрабатываются децентрализованно в условиях отсутствия единой методологии, а потому не позволяют рассматривать и анализировать деятельность системы здравоохранения в целом».

За прошедшие 6 лет в этом направлении предпринимаются определенные усилия, которые тем не менее не позволили пока отрасли существенно улучшить свое управление. Силами Министерства здравоохранения создается и постепенно развивается целый ряд аналитических решений, таких как Информационно-аналитическая система (ИАС), федеральный регистр медицинских организаций (ФРМО), федеральный регистр медицинских работников (ФРМР) и другие. В некоторых субъектах РФ внедрены и постепенно входят в привычную практику работы руководителей региональные информационно-аналитические системы (РИАСы), в том числе с применением мощных BI-платформ и формированием аналитики на основе поступающих в режиме реального времени медицинских данных из различных компонентов ЕГИСЗ.

Но все же наблюдаемое нами создание и развитие аналитических систем осуществляется параллельно с продолжающей свою работу и в целом несколько закостенелой медицинской статистикой. Ее правовую основу составляют утвержденные и пересматриваемые каждый год приказы Росстата, Минздрава и ФФОМСа. Этими нормативно-правовыми

актами устанавливаются бумажные формы статистической отчетности, которые вначале заполняются на уровне медицинской организации, затем консолидируются и обрабатываются на уровне региона, как правило в медицинских информационно-аналитических центрах (МИАЦ). Далее эти отчеты передаются на федеральный уровень в Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения (ЦНИИОиИЗ, http://www.mednet.ru), при этом по-прежнему с распечаткой на бумаге. Источником данных для формирования отчетов несколько десятилетий является преимущественно бумажная медицинская документация, главным образом – «Талоны амбулаторного пациента» (ТАПы) и «Карты выбывшего из стационара» (КВ).

По нашим данным, число форм федерального и отраслевого статистического наблюдения превышает 130 отчетов, а суммарное количество заполняемых показателей в этих формах – свыше 60 тыс. Если распечатать полностью всю предусмотренную законодательством статистическую отчетность, МИАЦ может потратить на это несколько десятков пачек бумаги, суммарно насчитывающих тысячи страниц с заполненными формами *(рис. 1)*. В основном горячая пора у медицинских статистиков – это начало года (январь-март), когда годовые отчеты окончательно принимаются от медицинских организаций, обрабатываются и готовятся для сдачи на федеральный уровень.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Существующая в России государственная система статистической отчетности в здравоохранении по существу не реформировалась со времен Советского Союза. Уже много лет она испытывает массу трудных проблем.

Во-первых, хорошо известно, что статистические отчеты заполняются и правятся при необходимости вручную, что неизбежно приводит к рискам предоставления «улучшенных» показателей, несмотря на действующую административную ответственность руководителей за предоставление недостоверных данных,

Рис. 1. **Распечатанные папки с годовым региональным архивом статистических отчетов по здравоохранению**

установленную статьей 13.19 Кодекса РФ об административных правонарушениях и статьей 3 Закона РФ «Об ответственности за нарушение порядка представления государственной статистической отчетности».

Не секрет, что нередко данные для расчета статотчетов, равно как и сами статотчеты, откровенно корректируются, другими словами – фабрикуются. Опытные статистики знают и умеют пользоваться правилами формирования и проверки статистических форм и могут предоставить их в таком виде, что выявить подделку показателей будет невозможно. Таким образом, убедиться в том, что предоставленный управленцу тот или иной статотчет, даже подписанный руководителем МО или регионального ОУЗ, содержит действительно реальные показатели, нередко практически невозможно.

Во-вторых, изменения в установленные формы статотчетов, как правило, вносятся и утверждаются ближе к концу года, что заставляет формировать их на основании данных и алгоритмов, изначально не предусмотренных в организации работы медицинской организации. Фактически, нередко показатели и сами формы отчетов приходится заполнять «задним числом», несмотря на повсеместные возможности автоматического их формирования различными программными продуктами. Вводимые приказами Росстата изменения порой совершенно не согласуются с основным назначением отчетности.

В работе [6] приводится детальное описание многочисленных проблем. Например, значительный объем ежегодных изменений в отчетных формах на протяжении последних лет привел к сокращению возможностей контроля. Ежегодные изменения привели к практической утрате межгодовых и межформенных контролей, так как частые «вмешательства» полностью разрушили динамические ряды множества показателей.

Бывали факты неоправданного дублирования одних и тех же показателей в различные отчетные формы, например, одно время существовала форма федерального статистического наблюдения № 31 «Сведения о медицинской помощи детям», в которой аккумулировались сведения об организации медицинской помощи пациентам в возрасте 0–17 лет, включая осмотры детей отдельных возрастных групп. Эти же сведения необходимо было предоставлять в отчетной форме № 30 [6].

В ряде случаев отчетные формы не учитывают специфику организации отдельных видов медицинской помощи, утвержденные формы и порядок ведения медицинской документации и даже иногда используют кодировки и нормативно-справочную информацию, отличающиеся от действующей и установленной Минздравом. В результате возникают риски, что собранные в государственной статистической отчетности данные нельзя использовать, т.к. они непригодны для оценки ситуации в той или иной службе здравоохранения.

Специалисты ЦНИИОиЗ признают, что, к сожалению, «гуляющие» по стране устные или самописные «рекомендации» по заполнению отчетных форм не только весьма далеки от корректных, но и противоречат основным законам статистики. Более того еще одна проблема состоит в сложных отношениях между медицинскими организациями (МО), территориальными фондами обязательного медицинского страхования (ТФОМС) и страховыми организациями (СМО) в субъектах РФ. В последние годы практически постоянно ТФОМС и СМО довольно активно «вмешиваются» в систему сбора сведений в медицинских организациях, предпринимая попытки скорректировать базовые методические положения, являющиеся основополагающими в системе учета в службе медицинской статистики страны [6].

Наконец, кадровое обеспечение, проблемы с обучением специалистов по медицинской статистике и по переподготовке кадров только усугубляют ситуацию. Специалисты ЦНИИОиЗ постоянно наблюдают, как отдельные МИАЦы,

утрачивая навыки высокопрофессионального коллектива, быстро теряют позиции «коллектива специалистов», пополняя категорию «неосведомленных новичков» и представляют в Минздрав России недоработанный, «сырой» годовой отчет, в котором выявляется большое количество недочетов и просто ошибок.

Все эти явления внутри системы здравоохранения хорошо и давно известны. Возможно, именно из-за них эксперты и просто рядовые медицинские работники достаточно скептически относятся к публикуемым отраслевым показателям. Медицинское профсообщество, да и общество в целом, попросту говоря, не верит медицинской статистике. СМИ и блогосферу уже не первый год сотрясают различные публикации с кричащими заголовками, например:

- Кто фальсифицирует статистику младенческой смертности? (сентябрь 2004 г.), https://rg.ru/2004/09/01/deti.html.
- Медицинская статистика о ВИЧ как худшая из форм лжи (декабрь 2011 г.), http://aidsexpert.livejournal.com/10509.html.
- В России «прячут» неугодную статистику смертности (апрель 2015 г.), http://doctorpiter.ru/articles/11545/.
- Эпидемиолог: официальная статистика по внутрибольничным инфекциям занижена (ноябрь 2015 г.), https://vademec.ru/news/2015/11/23/epidemiolog_ofitsialnaya_statistika_po_vnutribolnichnym_infektsiyam_zanizhena/.
- Поликлиники массово фальсифицируют отчеты о якобы проведенных обследованиях (декабрь 2015 г.), http://theins.ru/obshestvo/17608.
- Фонд «Здоровье»: действующая методика сбора статистики лишает смысла информатизацию (март 2016 г.), https://vademec.ru/news/2016/03/24/fond_zdorove_deystvuyushchaya_metodika_sbora_statistiki_lishaet_smysla_informatizatsiyu/.
- 80% врачей посчитали результаты диспансеризации недостоверными (апрель 2016 г.), https://vademec.ru/news/2016/04/28/80-medrabotnikov-schitayut-nedostovernymi-rezultaty-dispanserizatsii-/.
- Руководство Селемджинской больницы подозревают в фальсификации результатов диспансеризации (март 2017 г.), http://www.amur.info/news/2017/03/30/122703.
- Три четверти врачей усомнились в результатах диспансеризации (март 2017 г.), https://vademec.ru/news/2017/03/07/tri-chetverti-vrachey-usomnilis-v-rezultatakh-dispanserizatsii/.
- Более 30% российских врачей заявили о манипуляциях со статистикой в медучреждениях (апрель 2017 г.), https://vademec.ru/news/2017/04/26/bolee-30-rossiyskikh-vrachey-zayavili-o-manipulyatsii-s-pokazatelyami-smertnosti/.
- Летальный исход пермской статистики (июль 2017 г.), https://www.newsko.ru/news/nk-4143395.htm.
- Фальсификация медицинской статистики в Москве (август 2017 г.), https://burckina-new.livejournal.com/785563.html.
- Фонд «Здоровье» заявил о подозрительном росте смертности россиян (сентябрь 2017 г.) https://medrussia.org/8960-rost-smertnosti/#hcq=tFTYSwq.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ ФЕДЕРАЛЬНОГО СЕРВИСА МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ В ЕГИСЗ

Представляется, что постепенная интеграция службы медицинской статистики в ЕГИСЗ в виде отдельного федерального управленческого сервиса, построенного на автоматической консолидации всей необходимой первичной информации в электронном виде, было бы разумным и оправданным с экономической и организационной точек зрения.

Напомним, что в настоящее время в стране идет массовая автоматизация медицинских организаций (МО): повсеместно внедрены

медицинские информационные системы (МИС), осуществляется переход на электронные медицинские карты (ЭМК). Согласно утвержденным в каждом субъекте РФ «Дорожным картам развития ЕГИСЗ», к концу 2018 г. мы должны обеспечить полноценный 100% переход на ведение медицинской документации в электронном виде. Таким образом, вся информация, необходимая для формирования статистических отчетов, у нас уже собирается и хранится в электронном виде и в ближайшее время это должно быть во всех МО без исключения.

В этой связи мы бы могли запланировать и начать постепенную продуманную перестройку службы медицинской статистики. Идея состоит в следующем: было бы логично и правильно создать отдельный федеральный сервис в ЕГИСЗ, назовем его условно «Федеральная медицинская статистика» (ФМС). Этот сервис должен аккумулировать в себе все данные, необходимые для формирования требуемых для отрасли медицинских статистических отчетов, причем в деперсонифицированном виде. Источниками этих данных должны стать уже имеющиеся в настоящее время компоненты ЕГИСЗ: федеральные сервисы ФРМО/ФРМР, «Федеральная электронная регистратура» и федеральная интегрированная электронная медицинская карта (ИЭМК), а также медицинские информационные системы медицинских организаций (МИС МО), региональные сервисы, информационные системы ТФОМС и т.д.

Постепенно следует переводить процесс сбора и сдачи бумажных статистических отчетов на их автоматизированное формирование в этом федеральном сервисе. Например, уже сейчас все данные о ресурсном обеспечении (сведения о медицинских организациях, сведения о кадрах и медицинской технике и т. д.) имеются в федеральных регистрах ФРМО и ФРМР. Было бы логично отменить обязанность МО и МИАЦ сдавать отчетность по внесенным в эти сервисы данным, вместо этого реализовав возможность формировать всю статистическую отчетность по ним в соответствующей федеральной информационной системе медицинской статистики. Такое изменение сразу почувствовалось бы на местах: людям стало бы понятно, зачем они тратят время на ведение федеральных регистров; достоверность и правильность расчетов обеспечивал бы сам федеральный сервис; появилась бы возможность формировать нужные статистические отчеты в режиме on-line, а не раз в год.

Для того, чтобы стимулировать этот процесс, необходимо на законодательном уровне утвердить для всех участников системы здравоохранения возможность получать всю отчетность именно через этот сервис, отменив обязанность сдачи соответствующих отчетов в бумажном виде. В таком случае снизилась бы нагрузка на МИАЦ и МО в части постоянного запроса разных оперативных справок и дополнительных отчетов по внесенным в ЕГИСЗ данным. Вся необходимая информация уже внесена, поэтому получение отчетов по ней хорошо бы вести тоже централизовано.

Оператор «Федеральной медицинской статистики» смог бы самостоятельно поддерживать и оперативно вносить любые изменения в формы статистической отчетности. Более того такой подход создал бы реальные предпосылки постепенно переходить от табличных и недостаточно удобных для управленца форм статотчетов к более современным аналитическим системам с развитыми средствами визуализации и анализа данных, включая применение прогнозной аналитики и поддержки принятия управленческих решений. Это позволит внедрять любые нужные инновации и изменения в работу службы медицинской статистики намного быстрее и дешевле, чем сейчас и избавит от инертности на местах. Не нужно было бы заставлять медицинские организации и региональные МИАЦы каждый год изучать новые формы и правила их заполнения, не говоря уже о том, что это полностью

исключает риски махинаций со статистическими отчетами на местах.

Задача участников системы здравоохранения (медицинских организаций, СМО, ТФОМС, МИАЦ и т.д.) сводилась бы к осуществлению своей непосредственной основной деятельности, ведении соответствующих специализированных учетных информационных систем и их интеграции с системой медицинской статистики Минздрава в части оперативной, постоянной и надежной передачи в нее необходимых учетных данных.

Создание и внедрение системы, конечно, целесообразно осуществлять этапами. Например, вначале внедрить формирование отчетов по ресурсному обеспечению. Затем – заболеваемость. Далее – временная нетрудоспособность и т. д. Так, действуя обдуманно и последовательно, мы бы пришли к постепенному централизованному и полностью автоматизированному формированию всей государственной статистической отчетности, утверждаемой приказами Росстата, Минздрава, ФФОМС и других органов исполнительной власти. Параллельно с этим мы бы могли интегрировать в эту схему региональные органы управления, а также многочисленные разрозненные «мониторинги», «регистры» и т. д.

Представленный подход позволит обеспечить давно назревшие и действительно необходимые изменения в организации здравоохранения:

1. Избавит медицинский персонал от затрат времени на заполнение различных отчетных форм, что позволит получить существенную экономию времени и переориентировать ее на действительно основную деятельность – лечебно-диагностический процесс. Задача врача – лечить пациентов и вести ЭМК, не более. Все что нужно для управления отраслью, включая медицинскую статистику, необходимо получать автоматически на основании этих данных и не перекладывать на медицинских работников роль обслуживающих управленцев статистов.

2. Повысит мотивацию и ответственность руководителей МО в части информатизации. Если главный врач будет видеть статистические показатели по работе своей организации из единой информационной системы медицинской статистики, не сможет изменять эти показатели и при этом будет понимать, что их точно также видит региональный орган управления здравоохранением и федеральный Минздрав, то это изменит и его отношение к работе. При этом, если мы уберем с главврача его большую «головную боль» в части сдачи медицинской статистической отчетности, он сможет более эффективно работать, например, сосредоточится на лечебно-диагностическом процессе или улучшении организации работы.

3. Избавит МИАЦы и другие уполномоченные организации от тяжелой ручной работы по сбору и сдаче статистической отчетности. Вместо этого имеющийся персонал можно переориентировать на оперативный анализ и подготовку проектов управленческих решений на основе тех данных и показателей, которые формировала бы федеральная статистическая система.

4. Существенно ускорит оперативность и адекватность управления отраслью в целом: данные в такой схеме собираются не раз в год, а в режиме реального времени, их достоверность основывается на реальной работе МО, которую можно прозрачно контролировать, а значит и принимаемые решения будут быстрее, дешевле и эффективнее совершенствовать здравоохранение.

5. Централизованный анализ первичной информации открывает обширные возможности для инноваций: можно будет свободно менять форматы и срезы в аналитических инструментах, проводить ретроспективные исследования, строить эффективные прогностические модели и внедрять передовые технологии, такие как искусственный интеллект,

нейронные сети, big data и многое другое. Предложенный подход был бы реальным шагом в сторону цифрового здравоохранения, о котором так много сейчас говорится.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Необходимо признать, что эффективность государственного управления и применяемые в нем подходы и инструменты традиционно отстают от корпоративного сектора, который в силу жесткой конкуренции лучше предрасположен к внедрению новых методов и постоянному совершенствованию своего управления одновременно со снижением его стоимости. В настоящее время по крайней мере на Западе набирает популярность концепция управления на основе данных (data-driven business) [1].

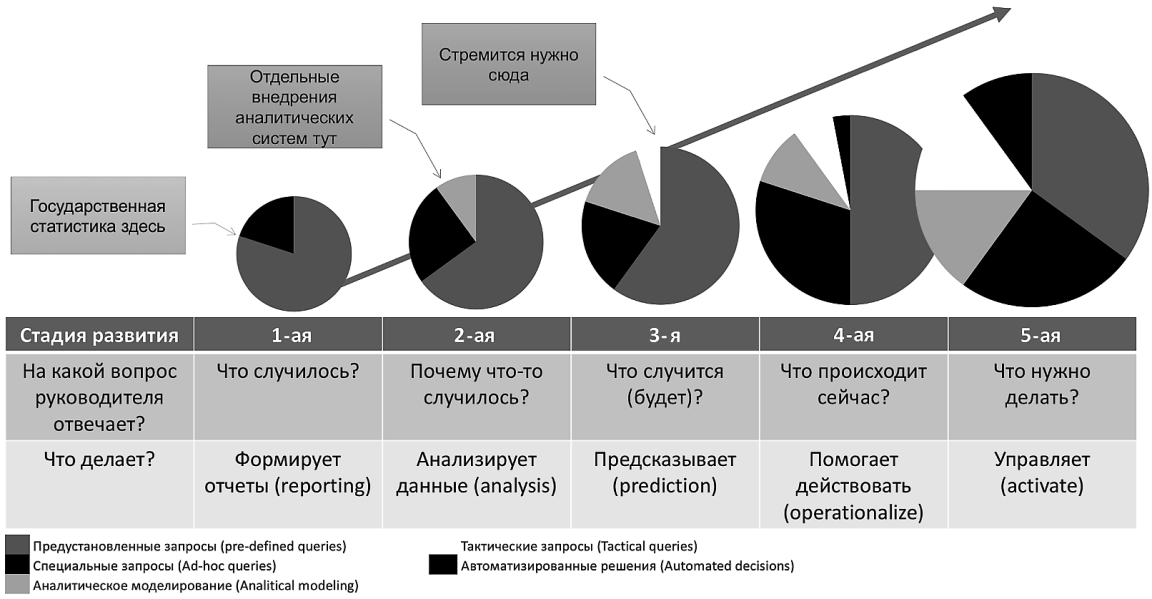
Ключевая роль в этой концепции отводится развитым аналитическим системам. Анализ литературы по различным проектам, подходам и готовым решениям, предлагаемых ИТ-отраслью, позволяет выделить 5 ступеней эволюции аналитических систем, показанных на *рис. 2* [7, 8, 12]:

1. Системы построения статотчетов. Умеют формировать различные формализованные, чаще всего табличные, статистические отчеты, на основании которых руководитель может определить – что случилось с тем или иным направлением работы здравоохранения за прошедший период, например, понять, как изменилась заболеваемость, смертность или ресурсное обеспечение. Именно на этом, 1-ом уровне, находится сейчас служба медицинской статистики и, соответственно, отраслевое управление, на ней основанное.

2. Информационно-аналитические системы. Умеют формировать развитую аналитику с различными визуальными инструментами, такими как геоинформационные технологии, drill-down запросы, OLAP-кубы и т.д. Как правило эти решения строятся на промышленных платформах класса Business Intelligence (BI). Позволяют руководителю выявлять причины произошедшего. В настоящее время отдельные решения как на федеральном, так и на региональном уровне соответствуют этой стадии, предоставляя руководителям интерактивные аналитические панели (дашборды), помогающие быстрее и проще принимать те или иные оперативные управленческие решения. К сожалению, это пока максимальный уровень развития в реализуемых в настоящее время компонентах ЕГИСЗ.

3. Предсказательные (прогностические) системы. Позволяют строить управление не на основании контроля различных показателей, а на основании предоставления руководителю автоматической оценки текущей ситуации и предсказания изменений в том или ином направлении работы здравоохранения. Это ближайшее будущее в совершенствовании управления, для которого у нас есть практически все что нужно: готовые BI-платформы, масса накопленных в электронном виде данных, а также знания в области моделирования. Применяя решения этого уровня, руководитель мог бы не тратить свое ценное время на изучение и ручное сравнение различных отчетов из сотен страниц и тысячи показателей, чтобы выявить какие-то отклонения или проблемы. Вместо этого система самостоятельно может проанализировать собранные в режиме on-line первичные данные и, используя заложенные «нормы» (предикторы) и определенные математические модели, выявить различные отклонения и сделать соответствующий прогноз, который затем вывести в понятном интерактивном виде на экран руководителю.

4. Системы-помощники. Достигнув этого уровня развития, аналитические системы смогут не просто предсказывать те или иные события, но и формировать предложения по действию руководителя. Возможно развитие



Стадия развития	1-ая	2-ая	3-я	4-ая	5-ая
На какой вопрос руководителя отвечает?	Что случилось?	Почему что-то случилось?	Что случится (будет)?	Что происходит сейчас?	Что нужно делать?
Что делает?	Формирует отчеты (reporting)	Анализирует данные (analysis)	Предсказывает (prediction)	Помогает действовать (operationalize)	Управляет (activate)

Рис. 2. **Эволюция аналитических систем**

технологий искусственного интеллекта поможет в наступлении эры таких решений.

5. Автоматические системы управления. Пока это считается уделом далекого будущего. На этом уровне системы будут заменять определенных руководителей и принимать самостоятельные управленческие решения.

Создавая предлагаемый сервис, целесообразно постепенно подтягивать существующую службу медицинской статистики ко второму уровню развития и строить решение по принципу развитой информационно-аналитической системы, способной помогать руководителю выявлять изменения в данных и оперативно указывать на критические отклонения в различных разрезах. При этом, возможно с небольшой отсрочкой, необходимо внедрять хотя бы некоторые элементы прогностической аналитики (predictive analytics) и предоставлять руководителям прогнозы, построенные на основании поступающих в режиме on-line данных из различных источников.

Продемонстрировав и отладив принципы управления на основании прогнозов и контроля отклонений, можно выводить систему управления на активную фазу масштабирования, подключая к ней все новые и новые источники данных и направления работы, отказываясь параллельно с этим от рудиментарных статистических отчетов.

Описанный подход не является чем-то совершенно новым или неизученным. Еще в 1997–2004 гг. на кафедре медицинской кибернетики РГМУ выполнялись научно-проектные разработки под руководством С.А. Гаспаряна по совершенствованию управления здравоохранением в г. Москве. В результате этих исследований наши ученые пришли именно к тем выводам, что были описаны выше [14, 15].

За рубежом совершенствование отраслевого управления за счет более широкого внедрения аналитических систем также активно изучается и обсуждается, особенно в последнее время. Например, в результате опроса «Predictive Analytics in Healthcare Trend Forecast», в котором приняли участие 223 руководителя медицинских и страховых организаций США, выявлено, что [13]:

- 93% опрошенных руководителей признали, что аналитика является важным направлением в развитии;
- 89% сообщили, что в ближайшие 5 лет планируют начать или расширить свои инициативы, связанные с аналитикой;
- 47% руководителей медицинских организаций заявили, что в настоящее время уже внедряют подобные решения;
- более половины руководителей считают, что прогнозная аналитика сможет сэкономить их организациям более 15% общего бюджета в течение ближайших пяти лет;
- более четверти опрошенных полагают, что экономия бюджета составит 25% и больше, если использовать технологии клинической и бизнес-аналитики.

Одновременно с этим в США отмечаются и значительные препятствия для раскрытия всего потенциала прогнозной аналитики. Результаты изучения этого вопроса выявили, что [13]:

- 16% респондентов связывают это непосредственно с самими руководителями, которые ссылаются на целый ряд более нужных, по их мнению, задач, и ограниченный бюджет для инвестиций в аналитику;
- 13% отмечают сложности обеспечения соответствия требованиям регуляторов, в частности закону по обеспечению доступности и подотчётности в медицинском страховании и здравоохранении Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA);
- 12% – некомплектность данных;
- 11% – трудность найма достаточно профессиональных специалистов;
- 10% – недостаточную эффективность IT-инфраструктуры;
- 9% – слишком большие объемы данных;
- 8% – трудность достижения договоренностей с пациентами;
- 7% – высказывают опасения о точности данных.

БАЗОВЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО СЕРВИСА МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ

Согласно Gartner, организации не должны немедленно отказаться от своих привычных систем управления и формирования отчетов. Вместо этого следует двигаться инкрементально, но при этом понимать, что сбор данных и развитие аналитических инструментов должно развиваться в сторону автоматизации управления, а не в стороны просто отражения текущего состояния [8].

Проанализировав развитие наиболее передовых аналитических инструментов и тенденций в этой отрасли за последние 3 года, а также опросив 950 ИТ-специалистов по всему миру, Gartner выделил следующие ключевые рекомендации:

1. Любое управление должно быть основано на данных, а не на отчетах.

2. Следует всячески поддерживать накопление любых данных, чтобы быть готовыми к внедрению методов искусственного интеллекта (artificial intelligence) и машинного обучения (machine learning). Правило простое: собирать столько данных, сколько можно.

3. Облачный подход в создании аналитических систем и хранении данных является окончательно сформировавшимся стандартом. Вопрос состоит не в том, использовать облака или нет. Сейчас он состоит всего лишь в формулировке «как именно это осуществить?».

4. Архитектура аналитической системы должна строиться на базе ревитализированного континуума данных и аналитики и состоять из 4 базовых блоков: Сбор, Организация, Анализ и Доставка *(рис. 3)*.

• **Собирать** данные следует независимо от того, где именно создается информация, в любом формате и в режиме реального времени. Это могут быть записи из электронной медицинской карты, медицинские изображения, данные региональных учетных систем вро-

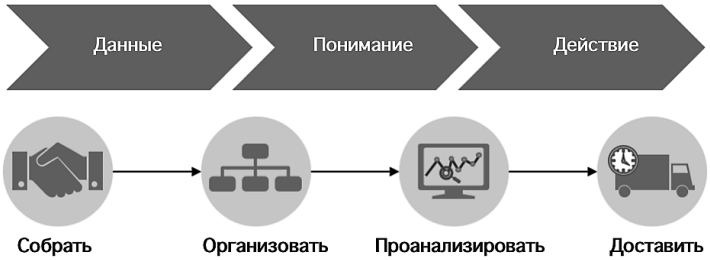


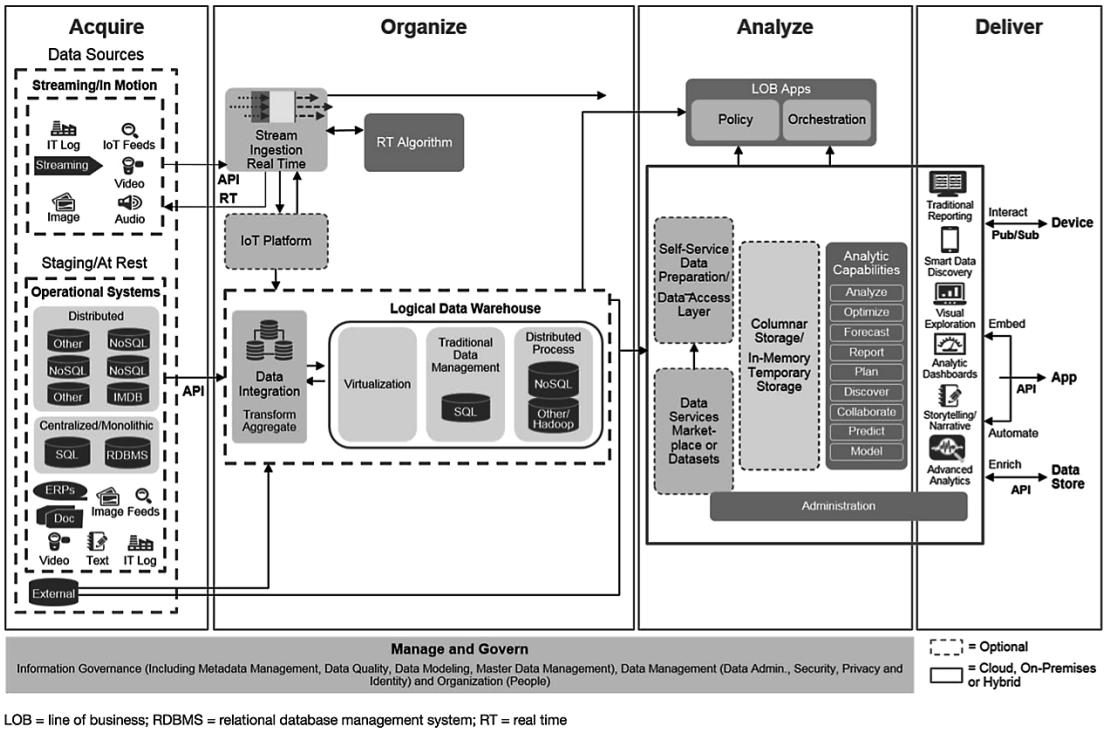
Рис. 3. **Ревитализированный континуум данных и аналитики (Gartner, октябрь 2016 г.)**

де «Электронной регистратуры» и т.д. вплоть до данных от IoT-устройств и телемедицинских решений.

• **Организовать** хранение и обработку информации следует с использованием принципа логического объединения данных (logical data warehouse, LDW) с подключением к физическим источникам по мере необходимости, а не пытаться хранить ее всю в одном месте.

«Большие данные» (big data) –это нормальный подход к созданию современной аналитической системы. Для правильной организации хранения данных следует привлекать профессионалов в области архитектуры и хранения информации (data scientist).

• **Анализировать** данные там и тогда, когда это имеет наибольший смысл, включая формирование отчетности, развитую визуали-



LOB = line of business; RDBMS = relational database management system; RT = real time

Рис. 4. **Комплексная, сквозная архитектура данных и аналитики (Gartner, октябрь 2016 г.)**

зацию данных, применение методов машинного обучения и других аналитических инструментов. Упор следует делать на современные методы продвинутой аналитики.

• **Доставлять** информацию оптимальным способом туда, где она нужна для принятия решения.

Архитектура сервиса федеральной медицинской статистики должна поддерживать управление на основе данных, обеспечивая быстрые изменения и самые разнообразные потребности, включая не только традиционные инструменты анализа, но и новые и передовые методы. Такая архитектура должна быть модульной по дизайну, чтобы приспособиться к параметрам конфигурации mix-and-match по мере их возникновения. *Рис. 4* показывает рекомендуемую Gartner четырехступенчатую модель сквозной архитектуры.

Предлагаемые подходы к развитию управления здравоохранением являются настолько радикальными по сравнению с существующими устоявшимися правилами, что могут встретить существенное сопротивление вплоть до полного отторжения. В этой связи целесообразно внедрять их постепенно и поэтапно, например, используя привычный способ «пилотных проектов».

Началом работы должен стать детальный и вдумчивый анализ существующих потребностей управленцев здравоохранением на различных уровнях, включая сотрудников Министерства здравоохранения и заинтересованных ведомств, региональные органы управления здравоохранением и руководителей медицинских организаций. В результате такого анализа должен быть сформирован план реализации (привычная нам «дорожная карта»), определены направления и очередность создания и развития системы, формализованы источники и состав регистрируемых данных.

Важным принципом работы должен стать постепенный отказ от ручного заполнения и сдачи любой статистической отчетности по выбранному направлению. Вместо него следует разработать формализованный состав принимаемых для обработки первичных данных и начать его сбор, например, на основании имеющихся и уже работающих сервисов ЕГИСЗ.

Также очень важно создавать систему в интересах всех субъектов здравоохранения, а не только преимущественно для специалистов Минздрава. Сервис следует сразу делать с возможностью применения в региональных органах управления здравоохранением, МИАЦах, руководителями медицинских организаций и т.д. Это позволит более активно вовлекать в развитие системы субъекты РФ, учитывать мнение практического звена и, что самое главное, предоставлять им нужную ценность, предотвращая тем самым проблему сопротивления на местах и медленного развития. Для того, чтобы регионы и руководители МО увидели и сами убедились в полезности системы, следует вместе с внедрением ее новых компонентов тут же сокращать дублированные или неэффективные учетные и отчетные формы медицинской документации, заменяя их передачей данных от МИС в электронном виде.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

Реализуя предлагаемые изменения, крайне важно изначально ориентироваться на самые современные средства визуализации и работы с аналитикой. Давно известен такой факт: если для принятия какого-то решения человек изучает только текст (например, статистический отчет), то он усваивает лишь 70% информации. Если же эту информацию представить в виде картинки, то человек усвоит уже 95% [1].

По сравнению с текстовым представлением данных, визуально поданные сведения воспринимаются человеческим мозгом в несколько тысяч раз быстрее. Иными словами, наглядное

Таблица 1

Пример табличного представления статистики о заболеваемости ОРВИ

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
120,2	128,3	119,5	102,1	98,3	88,7	82,9	92,2	103,4	101,7	118,7	115,5

представление информации – эффективный и важный инструмент в части повышения эффективности и скорости анализа и принятия решений. Поэтому принцип применения современных средств визуализации как основного способа представления аналитической информации – является одним из важнейших.

Для образца рассмотрим *таблицу 1* с примером данных о заболеваемости ОРВИ и попробуем выявить, в какой из месяцев она была максимальной?

А теперь посмотрим на эти же самые данные, поданные в виде столбчатой диаграммы *(рис. 5)*.

Дополнительно автоматически выделим цветом максимальное и минимальное значение, а также дополнительно настроим вертикальную ось с данными *(рис. 6)*.

Этот примитивный пример наглядно демонстрирует, что применяемый в настоящее время подход к сбору и представлению статистики в здравоохранении, основанный на табличной форме представления информации,

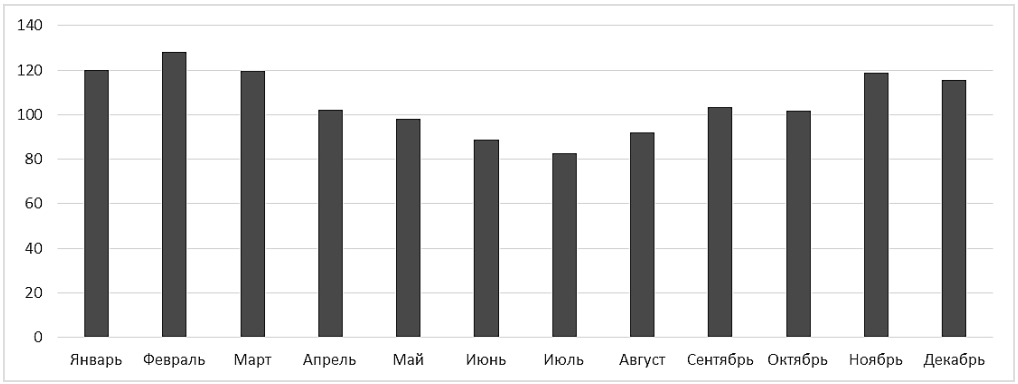


Рис 5. **Пример обычной диаграммы с данными о заболеваемости ОРВИ**

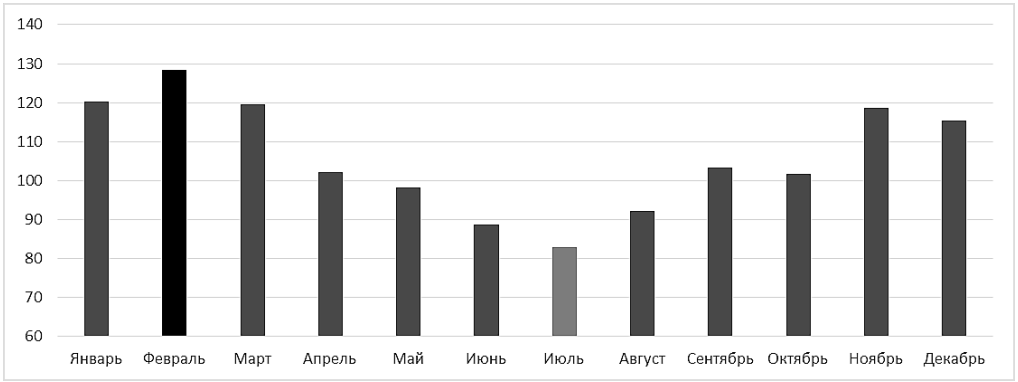


Рис 6. **Пример обработанной и подготовленной диаграммы с данными о заболеваемости ОРВИ**

является заметно проигрышным и по сути – ретроградным.

Современные средства визуализации и автоматической подготовки данных, реализованные в так называемых платформах бизнес-аналитики (Business intelligence, BI), позволяют:

1. Существенно, в разы, сокращать время на изучение данных. С помощью правильной визуальной подачи можно переориентировать временные и интеллектуальные затраты лица, принимающего решения (ЛПР), с затрат на изучение статистических данных, на их анализ и осмысление причинно-следственных связей и поиск вариантов управленческого решения.

2. Акцентировать внимание руководителя на аспектах данных, помогая ему выявлять важные отклонения или зависимости и при этом освобождать его от траты времени и интеллектуальных сил на изучение показателей, которые не изменились или не представляют ценности для оценки ситуации.

3. Анализировать за одно и то же время больше информации.

4. Обращать внимание на выявленные зависимости, взаимосвязи и отношения между данными.

5. Уменьшать информационную перегрузку руководителей и тем самым повышать эффективность их работы.

Таким образом, при создании системы очень важно не просто автоматизировать сложившуюся практику работы службы медицинской статистики. Дополнительно с такой автоматизацией целесообразно постепенно заменить неэффективные и устаревшие таблицы на понятные и наглядные аналитические панели, графики и диаграммы и другие развитые средства визуализации. Такой подход заметно усилит реализацию всей идеи сократить сопротивляемость при внедрении, т.к. целевые пользователи сразу на себе почувствуют облегчение в исполнении своих обязанностей и рост качества работы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕШЕНИЙ КЛАССА BUSINESS INTELLIGENCE (BI)

На сегодняшний день однозначно принятого и одинаково всеми понимаемого определения термина Business intelligence пока не сложилось. Исследователи, разработчики и теоретики расходятся в толковании этого термина. На его неопределенность повлияла многозначность английского слова «intelligence»: способность узнавать и понимать; готовность к пониманию; знания, переданные или приобретенные путем обучения, исследования или опыта; действие или состояние в процессе познания; разведка, разведывательные данные.

В определении аналитиков Gartner конца 1980-х годов business intelligence – это «пользователецентрический процесс, который включает доступ и исследование информации, ее анализ, выработку интуиции и понимания, которые ведут к улучшенному и неформальному принятию решений». Позже в 1996 году появилось уточнение – «инструменты для анализа данных, построения отчетов и запросов, которые могут помочь бизнес-пользователям преодолеть море данных для того, чтобы синтезировать из них значимую информацию».

Согласно исследованию [4], в настоящее время business intelligence в широком смысле слова определяет:

- процесс превращения данных в информацию и знания для поддержки принятия управленческих решений;

- информационные технологии (методы и средства) сбора данных, консолидации информации и обеспечения доступа бизнес-пользователей к знаниям;

- знания о бизнесе, добытые в результате углубленного анализа детальных данных и консолидированной информации.

В обзоре TAdviser «Business Intelligence и Big Data» проанализированы и систематизированы 15 главных требований к BI-платформам, которые полностью актуальны для создания

современного и масштабируемоего сервиса медицинской статистики в рамках ЕГИСЗ [4].

1. Требования к возможностям интеграции

- *BI-инфраструктура* – все инструменты системы должны быть реализованы «в едином ключе», в том числе должны использовать общие метаданные, единую объектную модель, сквозную модель безопасности, администрирования, портальной интеграции, общий движок исполнения запросов.

- *Управление метаданными* – все инструменты в рамках единой платформы должна скреплять не только модель метаданных, но и единые средства для поиска, получения, хранения, повторного использования и публикации объектов метаданных, таких как массивы, иерархии, множества, метрики и элементы оформления отчетов.

- *Разработка* – BI-платформа должна предоставлять как пользователям, так и разработчикам набор развитых инструментов для создания BI-приложений, которые могут интегрироваться между собой и выстраиваться в сквозные бизнес-процессы, в том числе внедряемые в сторонние (внешние) бизнес-приложения. При этом хотя бы часть инструментов должна быть доступна на интуитивно понятном уровне, не требующем навыков программирования, желательно с графическим интерфейсом. Кроме того среда разработки должна поддерживать веб-сервисы для решения таких задач, как управление и администрирование, доставка информации, соблюдение графиков и регламентов работы.

- *Взаимодействие* – BI-платформа должна содержать средства для обмена как самой информацией, так и мнениями по поводу полученных результатов. Эти средства могут быть реализованы в виде дискуссионных форумов и конференций. Кроме того BI-приложения должны иметь возможность на основании определенных бизнес-правил назначать задания конкретным пользователям и отслеживать их выполнение. Иногда для реализации этих задач требуется использование отдельных самостоятельных приложений.

2. Требования к предоставлению информации

- *Аналитические панели (dashboards)* должны быть основным способом доставки аналитики пользователю. Система должна представлять данные в наглядном, интуитивно понятном виде, при помощи различных шкал, показателей, индикаторов и т.п. Посредством таких контрольных панелей пользователи могут следить за текущим состоянием ключевых показателей и процессов и сравнивать их с намеченными, целевыми значениями.

- *Развитая отчетность* – возможность создания форматированных и интерактивных отчетов с развитыми механизмами для их распространения и обновления.

- *Произвольные (ad hoc) запросы* – для пользователей должна быть доступна возможность самостоятельно (без привлечения ИТ-специалистов) создавать и выполнять специфичные, нетиповые запросы. Для реализации таких возможностей в BI-платформе должен присутствовать развитый семантический слой, позволяющий находить и извлекать нужную информацию из имеющихся источников. Кроме того в системе должны присутствовать средства для аудита этих запросов, позволяющие убедиться в правильности их выполнения.

- *Интеграция с офисными приложениями* – в некоторых случаях BI-платформа используется как промежуточный инструмент для выполнения аналитических задач с соблюдением правил корректности и безопасности данных. При этом в качестве клиентской части BI-системы могут выступать различные офисные приложения, например табличные редакторы. Для этих случаев BI-вендору необходимо обеспечивать интеграцию с такими продуктами, включая поддержу форматов документов,

формул, сводных таблиц и механизмов обновления данных, а в расширенном варианте – еще и механизмов для блокирования отдельных ячеек и для «обратного» сохранения в базу данных внесенных в таблицы изменений.

- *Возможности поиска* – наличие поискового индекса как к структурированным, так и к неструктурированным источникам данных и объединение их в классифицированную структуру с определенными измерениями (зачастую использующими семантический слой BI) с тем, чтобы пользователи могли с легкостью ориентироваться и изучать данные посредством поискового (как у Google) интерфейса.

- *Мобильные возможности* – этот функциональный блок объединяет инструментарий, позволяющий доставлять отчеты и контент аналитических панелей на мобильные устройства (такие как смартфоны и планшеты), а также использовать интерактивные возможности девайсов (например, нажатие) и другие опции, обычно недоступные на десктопах и ноутбуках (геолокация и другие).

3. Требования к аналитическим возможностям

- *Оперативная аналитическая обработка данных (*OLAP, *OnLine Analytical Processing)* – поддержка OLAP-кубов значительно ускоряет процессы обработки запросов и выполнения расчетов, обеспечивая анализ данных в различных срезах (такой стиль анализа обозначается термином «slicing and dicing», что дословно переводится как «нарезание на кубики и ломтики», то есть в продольном и поперечном направлении). Такие инструменты также позволяют осуществлять планирование, использовать анализ по типу «что, если...». OLAP при этом может быть реализован посредством различных архитектур данных и хранилищ как дисковых, так и in-memory.

- *Интерактивная визуализация* – максимально наглядное представление данных с использованием различных интерактивных изображений, схем и графиков (вместо привычных таблиц с обычными строками и столбцами).

- *Предикативное моделирование и data mining* – эти инструменты призваны помочь компаниям классифицировать данные, формировать собственные номинальные и количественные шкалы, а также использовать для их анализа развитый математический аппарат.

- *Карты показателей (scorecards)* – позволяют на основании определенных ключевых показателей (отображаемых на контрольных панелях) контролировать ход выполнения стратегических планов и достижения ключевых показателей эффективности (KPI). Тем самым операционные показатели «привязываются» к целевым стратегическим индикаторам. Для дальнейшего, более детального анализа эти показатели могут расшифровываться при помощи дополнительных отчетов. Такие механизмы позволяют реализовывать различные методологии управления, такие как «шесть сигма» или системы сбалансированных показателей (BSC).

- *Перспективное моделирование, симуляторы и оптимизация* – инструментарий предназначен для поддержки принятия решений в условиях выбора правильного значения переменной как детерминированных, так и при моделировании случайных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый нами подход позволит создать необходимые условия для повышения эффективности управления здравоохранением на всех уровнях – от Министра до главных врачей медицинских организаций. Такое управление должно быть основано на данных, поступающих и анализируемых специализированными аналитическими системами поддержки принятия решений из соответствующих учетных информационных систем. Ключевые аспекты – это визуализация данных, использование развитых BI-платформ и лучших практик по проектированию информационно-аналитических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Phillips Tim.* Data Driven Business // Infinite Ideas Limited. – 2016. – 160 p.
2. *Dowse R1, Ehlers M.* Medicine labels incorporating pictograms: do they influence understanding and adherence? // Patient Educ Couns. 2005 Jul; 58(1): 63–70.
3. Приказ Минздравсоцразвития России от 28.04.2011 г. № 364 «Об утверждении Концепции создания ЕГИСЗ» //URL: http://portal.egisz.rosminzdrav.ru/materials/99.
4. Обзор TAdviser «Business Intelligence и Big Data» // URL: http://www.tadviser.ru/index.php/BI.
5. *Обухова О.В.* Международные статистические инструменты в оценке эффективности отечественной системы здравоохранения // Социальные аспекты здоровья населения. – 2012. – Т. 24. – № 2. – С. 2.
6. *Зайченко Н.М., Лебедев Г.С.* Некоторые проблемы медицинской отчетности и пути их решения // Социальные аспекты здоровья населения. – 2013. – Т. 34. – № 6. – С. 7.
7. Moving Beyond Descriptive Analytics to Maximize your Donor Strategy // URL: https://npengage.com/nonprofit-fundraising/moving-beyond-descriptive-analytics-maximize-your-donor-strategy/ (Дата обращения: 20.09.2017).
8. *Hagerty John.* 2017 Planning Guide for Data and Analytics // Gartner. – 2016. – 27 p.
9. *Sanders Dale, Burton David A., Protti Denis J.* The Healthcare Analytics Adoption Model:
10. A Framework and Roadmap // Health Catalyst White Paper. – 2016. – 10 p. // URL: https://www.healthcatalyst.com/wp-content/uploads/2013/11/analytics-adoption-model-Nov-2013.pdf (Дата обращения: 25.09.2017).
11. Harnessing big data for healthcare. IBM Solution Brief // URL: https://assets.sourcemedia.com/31/a6/cb1b019c4d6cb338fab539eea360/ims14428usen.pdf (Дата обращения: 25.09.2017).
12. *Patti Brooks, Omar El-Gayar, Surendra Sarnikar.* Towards a Business Intelligence Maturity Model for Healthcare // 46th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2013.
13. Healthcare leaders: Predictive analytics will save health systems millions // URL: http://www.healthcareitnews.com/news/healthcare-leaders-predictive-analytics-will-save-health-systems-millions (Дата обращения: 02.10.2017).
14. *Гаспарян С.А., Зарубина Т.В., Белоносов С.С., Потапова И.И.* Автоматизированная информационная система мониторинга здоровья населения // Здравоохранение. – 2003. – № 10. – С. 167.
15. *Гаспарян С.А.* Медико-социальный мониторинг в управлении здравоохранением. – Москва. – 2007. – 151 с.

А.В. КУРБЕСОВ,
к.э.н., доцент, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), г. Ростов-на-Дону
К.Х. КАЛУГЯН,
к.э.н., доцент, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), г. Ростов-на-Дону

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ВОПРОСАХ ЛЕКАРСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАН

УДК 615.2, 004.02

Курбесов А.В., Калугян К.Х. ***Актуальность применения технологии блокчейн в вопросах лекарственного обеспечения граждан*** *(Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), г. Ростов-на-Дону)*

Аннотация. В работе предложены требования, которые могут быть предъявлены к информационным системам, задействованным в процессе выпуска и отпуска лекарственных средств. Обоснована эффективность использования технологии блокчейн для успешного осуществления указанных операций. Обоснована возможность решения задач в этой сфере на основе данной технологии.

Ключевые слова: *медицинская организация, аптечное учреждение, блокчейн, децентрализованное приложение.*

UDC 615.2, 004.02

Kurbesov A.V., Kalugyan K.Kh. ***Relevance of use of technology blockchain in questions of provision of medicines of citizens*** *(Rostov State University of Economic (RINH), Rostov-on-Don)*

Abstract. The paper identifies the requirements that will be presented to the information systems involved in the process of issuing and dispensing of medicines. Proved the efficiency of using blockchain technology for the successful implementation of these operations and the possibility of solving the main tasks on the basis of this technology.

Keywords: *the medical organization, pharmaceutical organization, blockchain, the decentralized application.*

В июле 2017 г. Правительство РФ приняло Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационно-телекоммуникационных технологий и введения электронных форм документов в сфере здравоохранения» [1].

Самые значительные изменения нормативного акта касаются появления понятия «Электронный рецепт» и необходимости существенного расширения электронного взаимодействия между медицинскими организациями (МО) и аптечными учреждениями (АУ). Должно быть обеспечено: «принятие высшим исполнительным органом государственной власти субъекта Российской Федерации решения об использовании на территории субъекта Российской Федерации наряду с рецептами на лекарственные препараты на бумажном носителе рецептов в форме электронного документа,

© *А.В. Курбесов, К.Х. Калугян, 2018 г.*

подписанного усиленной квалифицированной электронной подписью врача (фельдшера, акушера)». Приведенная цитата показывает, что вопросы использования электронного рецепта находятся в ведении субъекта РФ, и, очевидно, предполагается делегирование указанных полномочий на уровень субъекта РФ. Такая постановка вопроса выглядит достаточно логично, т.к. закрепление этих полномочий на уровне Федерального центра может существенно снизить конкуренцию в указанной сфере и приведет к еще большей монополизации рынка лекарственных средств (ЛС) и ИТ-решений. При этом в законе № 323-ФЗ от 21.11.2011 г. «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» [2] к полномочиям Минздрава отнесено: «утверждение правил информационного взаимодействия в целях выдачи рецептов на лекарственные препараты, медицинские изделия в форме электронных документов, подписанных усиленной квалифицированной электронной подписью врача (фельдшера, акушера)».

Законом [1] предусматривается, что рецепты, создаваемые в форме электронного документа, будут направляться непосредственно в АУ. В целях достижения единообразного порядка работы с медицинскими документами, включая рецепты на лекарственные препараты, будет обеспечено формирование и хранение электронных медицинских документов в информационных системах медицинских организаций, где они фактически создаются, с возможностью предоставления необходимой информации в единую систему. Отдельно следует подчеркнуть возможность выписки электронных рецептов психотропных и наркотических ЛС, что вносит существенное ужесточение в механизмы электронного документооборота с целью предотвращения незаконного оборота указанных препаратов.

Перечисленные положения позволяют сформулировать основные требования, которые могут быть предъявлены к информационной системе, поддерживающей обращение электронных рецептов на территории отдельного субъекта Федерации:

- наличие проработанной нормативной базы электронного медицинского документооборота;
- исключение возможности подделки рецепта и многократного получения ЛС по одному и тому же рецепту;
- исключение возможности утраты электронного рецепта или содержащейся в нем информации;
- предоставление возможности получения ЛС пациентом в любом АУ территории независимо от его принадлежности и формы собственности;
- сохранение конфиденциальности информации о получателе того или иного ЛС;
- максимальное обеспечение передачи информации по открытым каналам связи;
- минимизация расходов МО на развитие информационных систем, в том числе на приобретение необходимого количества экземпляров усиленной квалифицированной электронной подписи;
- повышение надежности хранения информации о выписанных и отпущенных рецептах и исключение (или радикальное сокращение) возможности утраты указанной информации;
- получение достоверной экономико-статистической информации о финансовых и медицинских параметрах описываемого процесса.

Проведенный анализ показал, что наилучшим техническим решением, отвечающим практически всем поставленным требованиям, является технология блокчейн [7, 8, 11].

Блокчейн – это технология надежного распределения записей обо всех когда-либо совершенных транзакциях. В рассматриваемой нами системе транзакциями разумно считать факт выписки электронного рецепта в МО и факт получения такого рецепта в АУ. Блокчейн представляет собой

последовательность блоков, содержащих транзакции участников системы, в которой каждый последующих блок содержит в себе хэш (результат вычисления хэш-функции) предыдущего блока [15]. Это позволяет легко проверить всю цепочку блоков путем последовательного пересчета хэшей.

Изначально блокчейн создавался как один из элементов системы защиты и подтверждения транзакций в одноранговой сети, когда каждый узел сети имеет доступ ко всем транзакциям, но при этом обеспечивается псевдоанонимность участников транзакций и блокируется возможность узлов вносить изменения в совершенные транзакции. Это достигается криптографической защитой адресов участников транзакций и защитой всего блокчейна сложностью вычисления хэшей блоков транзакций [9, 12, 13]. Следует подчеркнуть, что анонимизация организаций, выписавших и получивших рецепт, в нашей информационной системе не требуется.

Представляется актуальным сохранение анонимности пациента в полном соответствии с действующими нормативными актами. Более того, используемая в блокчейне технология криптозащиты с использованием ассиметричного шифрования позволяет обеспечить гарантированное шифрование личности пациента.

Система блокчейн обеспечивает невозможность подделки рецепта или несанкционированного дублирования отпуска ЛС и позволяет вообще не осуществлять передачу данных пациента даже в зашифрованном виде.

К системе можно подключить все МО и АУ, участвующие в электронном документообороте территории. Фактически любая МО и АУ может стать участником информационного взаимодействия, установив на своих компьютерах необходимое программное обеспечение. В соответствии с принципами блокчейна, чем больше организаций подключится к такой сети, тем надежней она будет защищена от разного рода подделок [11].

Одна из главных особенностей системы – полная децентрализация: отсутствие центрального администратора или какого-либо его аналога. Необходимым и достаточным элементом этой системы является программа-клиент (которая может иметь открытый исходный код). Запущенные на множестве компьютеров программы-клиенты соединяются между собой, каждый узел – равноправен и самодостаточен [14, 16, 17].

Блоки одновременно формируются множеством компьютеров. Удовлетворяющие критериям блоки отправляются в сеть, включаясь в распределенную базу блоков. Специально или случайно можно ограничить ретрансляцию информации о новых блоках (например, одна из цепочек может развиваться в рамках локальной сети). Таким образом, цепочка блоков содержит историю владения, с которой можно ознакомиться, например, на специализированных сайтах.

Распределенная база данных (БД) Blockchain формируется как непрерывно растущая цепочка блоков с записями обо всех транзакциях. Копия базы или ее части хранится на множестве компьютеров одновременно и синхронизируются согласно формальным правилам построения цепочки блоков. Информация в блоках защищена от изменений криптографически *(рис. 1)*.

Данная архитектура фактически не нуждается в усиленной квалифицированной электронной подписи, и ее необходимость объясняется требованиями законодательства, а не какими-то другими причинами. Блокчейн позволяет избавиться от «доверенных посредников» и обеспечивает полный децентрализованный обмен между любыми МО и АУ, что позволяет подключиться к системе неограниченному числу АУ. Поскольку информация тиражируется по всем узлам сети, то представляется невозможной несанкционированная модификация и утрата необходимой информации.

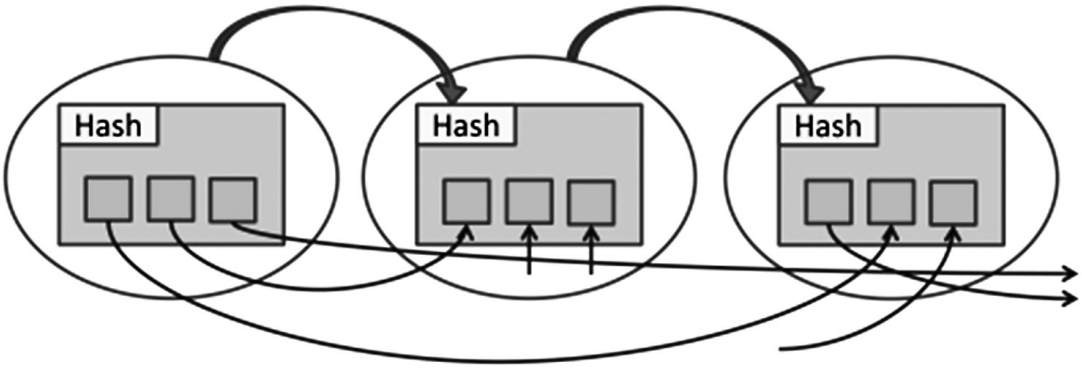


Рис. 1.

Подобные системы должны обеспечить двухуровневое шифрование на основе открытого ключа и при этом в качестве цифровой подписи допустимо использовать подпись, сгенерированную непосредственно самим медицинским или аптечным работником, а усиленную квалифицированную электронную подпись иметь только одну на организацию, с ее помощью должен быть подписан любой передаваемый пакет информации [3, 6].

Каждый человек в такой системе может сгенерировать себе «цифровую фамилию» и «цифровую подпись» (открытый и закрытый ключ соответственно). «Фамилию» он всем показывает, а вот подпись хранит в тайне. Благодаря этому:

- можно писать сообщения, подписывать их и публиковать;
- все кругом видят, что сообщение написал именно тот самый человек с определенной «фамилией» (она угадывается по «подписи»);
- никто не может подделать такое сообщение;
- один человек может сгенерировать много разных пар фамилий и подписей для различных целей (например, если один и тот же врач совмещает в МО функции различных специалистов).

Все операции такой системы необратимы. Достаточно, чтобы данные о выписке или отпуске рецепта были включены в цепочку блоков, и изменить эту информацию станет невозможно. Разумеется, может возникнуть ошибка, требующая исправления, но даже если она появилась после того, как информация была включена в цепочку блоков, можно увидеть на каком этапе и по какой причине внесены соответствующие исправления.

Работает это следующим образом. Один из клиентов создает новую транзакцию и рассылает ее другим клиентам, которые заняты генерацией блока. Они добавляют эту транзакцию к своему блоку и продолжают генерацию. Рано или поздно у кого-то получится сгенерировать блок. Такой блок запечатывается (к нему больше не добавляются транзакции) и рассылается по сети. Далее клиенты проверяют блок и транзакции внутри него на валидность [4, 5, 10]. Если никаких проблем нет, то транзакции считаются одобренными. К этому моменту свежий блок уже доехал до каждого клиента и добавлен в цепочку. После этого процесс повторяется: клиенты начинают генерировать очередной блок и собирать в него новые транзакции [7, 13].

Право записать очередной блок в цепочку блоков должно быть предоставлено на основании доказательства выполненной работы.

Децентрализованные приложения никогда не прекращают работу, благодаря отсутствию центрального сервера, который мог бы остановиться. Представляется целесообразным

кэширование данных с использованием технологий традиционных СУБД для выписанных и / или отпущенных рецептов в отдельной, на этот раз централизованной, базе данных для обеспечения возможности оперативного расчета тех или иных экономических (статистических) показателей (традиционные БД пока обеспечивают существенно большее быстродействие по сравнению с децентрализованными). При этом следует учитывать, что такая вынесенная БД представляет собой срез состояния распределенной БД (блокчейна) по состоянию на определенный момент времени. Необходимо дополнительно разработать программное обеспечение, позволяющее в фоновом режиме верифицировать такую централизованную БД с децентрализованной и получать постоянное подтверждение ее корректности. Если же такая архитектура (ввиду ее усложнения) признается нецелесообразной, то существует несколько децентарализованных БД, например, InterplanetaryFileSystem («Всепланетная» файловая система), BitTorrent и независимые таблицы DHT. Данные в децентрализованных приложениях распределены между всеми узлами [8]. При этом все узлы действуют независимо. Если один из них остановится, другие продолжат работу в сети.

Побочным эффектом такой технологии является то, что можно отслеживать все последовательные модификации любых данных, сохраняющихся в цепочках блоков.

Предложенная методика дает возможность создать открытую архитектуру информационной системы, позволяющую объединить неограниченное число МО и АУ различного типа и форм собственности. Данная система была программно реализована на базе ООО «Электронная медицина» (г. Ростов-на-Дону).

Полученные результаты могут быть использованы для построения систем электронного документооборота в области выписки электронных направлений на госпитализацию, обмена данными электронных медицинских карт, электронными больничными листами и т.п.

ВЫВОДЫ

1. Обоснована актуальность применения технологии блокчейн в области обеспечения граждан лекарственными средствами.
2. Показана возможность минимизации расходов МО на приобретение усиленной квалифицированной электронной подписи.
3. Описана возможность применения БД традиционной архитектуры в децентрализованных приложениях и взаимодействие этих программных средств между собой.
4. Описаны механизмы невозможности подделки рецептов на основе технологии блокчейн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 29.07.2017 г. № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья». – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184/.

2. Федеральный закон от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ (ред. от 29.07.2017 г.) «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/.

3. *Винья П., Кейнси М.* Эпоха криптовалют. Как биткоин и блокчейн меняют мировой экономический порядок: Пер. с англ. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 432 с.

4. *Воронова Л.В., Гольчевский Ю.В.* Статистическое моделирование в процессах управленческого учета на примере медицинского подразделения вуза // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 46–57.
5. *Гулиев Я.И., Белышев Д.В., Михеев А.Е.* Моделирование бизнес-процессов медицинской организации: классификация процессов // Врач и информационные технологии. – 2015. – № 4. – С. 6–13.
6. *Егоренкова Т.Ю., Курбесова Е.С., Курбесов А.В.* Электронный больничный лист // Главный врач юга России: Специализированный медицинский журнал. – 2017. – № 3. – С. 33.
7. *Поппер Н.* Цифровое золото: невероятная история биткоина: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. – 368 с.
8. *Равал С.* Децентрализованные приложения. Технология Blokchain в действии. – СПб.: Питер, 2017. – 240 с.
9. *Свон М.* Блокчейн: схема новой экономики: Пер. с англ. – М.: Издательство «Олимп-бизнес», 2017. – 240 с.
10. *Хубаев Г.Н., Калугян К.Х., Родина О.В., Щербаков С.М., Широбокова С.Н.* Визуальные и имитационное моделирование деловых процессов для экспресс-оценки ресурсоёмкости товаров и услуг // The scientific heritage. – 2016. – № 5 (5). – P. 92–99.
11. *Siraj Raval.* Decentralized Applications: Harnessing Bitcoin's Blockchain Technology, 2016. – 150 p.
12. *Champagne Ph.* The Book Of Satoshi: The Collected Writings of Bitcoin Creator Satoshi Nakamoto, 2014. – 396 p.
13. *Castronova E.* Wildcat Currency: How the Virtual Money Revolution Is Transforming the Economy Hardcover, 2014. – 288 p.
14. *Graf Konrad S.* Are Bitcoins Ownable?: Property Rights, IP Wrongs, and Legal – Theory Implications, 2015. – 92 p.
15. *Martin W.* Black Market Cryptocurrencies: The rise of Bitcoin alternatives that offer true anonymity, 2014. – 156 p.
16. *Brito J., Castillo A.* Bitcoin: A Primer for Policymakers, 2016. – 118 p.
17. *Clark J.* Bitcoin, blockchain, cryptocurrency, cryptology» (A detailed and technical study of Bitcoin, blockchain, cryptocurrency, and cryptology), 2016. – 499 p.

А.А. ХАЛАФЯН,
д.т.н., профессор кафедры прикладной математики, Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия, statlab@kubsu.ru
Р.А. ВИНОГРАДОВ,
к.м.н., заведующий отделением сосудистой хирургии, ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского» министерства здравоохранения Краснодарского края, г. Краснодар, Россия, viromal@mail.ru
В.А. АКИНЬШИНА,
к.п.н., доцент, доцент кафедры прикладной математики, Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия, ak-vera@yandex.ru
А.А. КОШКАРОВ,
начальник информационно-вычислительного отдела, ГБУЗ «Клинический онкологический диспансер № 1» министерства здравоохранения Краснодарского края, г. Краснодар, Россия, Koshkarov17@yandex.ru

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТАКТИКИ КОРРЕКЦИИ СТЕНОЗА ВНУТРЕННИХ СОННЫХ АРТЕРИЙ

УДК 519.711

Халафян А.А., Виноградов Р.А., Акиньшина В.А., Кошкаров А.А. ***Система поддержки принятия решений при выборе тактики коррекции стеноза внутренних сонных артерий*** *(Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия; ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского» министерства здравоохранения Краснодарского края, г. Краснодар, Россия; ГБУЗ «Клинический онкологический диспансер № 1» министерства здравоохранения Краснодарского края, г. Краснодар, Россия)*

Аннотация. Наряду с разработкой медицинских информационных систем важной является задача создания медицинских систем поддержки принятия решений (СППР), в частности, способных прогнозировать возможность послеоперационных осложнений. Компьютерные методы анализа данных позволяют успешно использовать как классические методы прикладной статистики, так и современные эвристические процедуры для выявления латентных (скрытых) знаний в базах данных больных с последующим построением прогностических моделей. В статье описана СППР, которая по клиническим показателям состояния больного до лечения и технологическим параметрам оперативного вмешательства автоматизирует прогнозирование возможности осложнений при оперативном лечении стеноза внутренних сонных артерий методами каротидной эндартерэктомии и ангиостентирования. В основе СППР лежат методы классификации на обучающей выборке, включающей сведения о больных, прошедших лечение, а также данные о наличии или отсутствии осложнений. Исследования, предваряющие разработку СППР, были реализованы в среде пакета STATISTICA. Ввод в программу автоматизирован. По команде пользователя необходимые для вычислений данные больного из таблицы Excel импортируются в модуль программы для предсказания возможности осложнений. Также по желанию пользователя результаты прогноза могут быть сохранены в исходной таблице.

Ключевые слова: *медицинская система поддержки принятия решений, деревья классификации, нейронные сети, каротидная эндартерэктомия, ангиостентирование.*

UDC 519.711

Khalafyan A.A., Vinogradov R.A., Akin'shina V.A., Koshkarov A.A. ***Decision Support System for Choosing Correction Tactics of Internal Carotid Arteries Stenosis*** *(Kuban State University, Krasnodar, Russia; Ochapowski Regional Hospital, Krasnodar, Russia; Krasnodar Regional Oncological Dispenser, Krasnodar, Russia)*

© А.А. Халафян, Р.А. Виноградов, В.А. Акиньшина, А.А. Кошкаров, 2018 г.

Abstract. Along with the medical systems development there is an important task on creation of medical decision support systems (DSS), in particular, capable of predicting the probability of postoperative complications. Computer methods of data analysis make it possible to successfully use both classical methods of applied statistics and modern heuristic procedures for identifying latent (hidden) knowledge in patients' databases with subsequent construction of predictive models. The article describes the DSS, which automates the prediction of complications probability in the surgical treatment of internal carotid arteries stenoses by carotid endarterectomy and angiostentiation methods basing on the clinical parameters of the patient's condition before treatment and the technological parameters of the operative intervention. The DSS is based on such classification methods as classification trees and neural networks, the training sample for the classification is the database of patients, who have been treated, with the information of complications presence or absence availiable. Studies, preceding the DSS development were implemented in the STATISTICA package environment. The entrance into program is automated. At the user's require, the patient data, needed for the calculation is imported into the prediction program module of complications probability from the Excel table. Also, at the user's request, the prediction results can be saved in the source table.

Keywords: *medical decision support system, classification trees, neural networks, carotid endarterectomy, angiostenting.*

ВВЕДЕНИЕ

Развитие медицины сопровождается появлением новых инструментальных и лабораторных методов оценки состояния здоровья больных. Но какой бы многообразной ни была информация о состоянии больного в виде результатов клинико-лабораторных или рентгенологических исследований по ряду объективных и субъективных причин возможны послеоперационные осложнения. Поэтому в настоящее время наряду с разработкой медицинских информационных систем (МИС) важной является задача создания медицинских систем поддержки принятия решений (СППР) [4], [7], способных в частности прогнозировать возможность осложнений. СППР – это наукоемкие информационные системы, так как предполагают использование определенных научных направлений, в том числе и методов компьютерного анализа данных.

Компьютерные методы анализа данных позволяют успешно использовать как классические методы прикладной статистики, так и современные эвристические процедуры, например, нейронные сети для выявления латентных (скрытых) знаний в базах данных больных, содержащих информацию об их состоянии как до лечения, так и после лечения – терапевтического или оперативного. Латентные знания представляют собою сложные стохастические взаимосвязи между определенной совокупностью как количественных, так и качественных показателей, характеризующих состояние больных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время клинические руководства рекомендуют использовать комплексный индивидуальный подход для решения вопроса о методе коррекции стеноза внутренних сонных артерий (ВСА), однако алгоритм выбора остается неясным [1–3]. В статье описана СППР, которая по клиническим показателям состояния больного,

позволяет прогнозировать возможность осложнений при оперативном лечении стеноза внутренних сонных артерий (ВСА) двумя методами – каротидной эндартерэктомии (КЭЭ) и ангиостентирования (КАС). В основе СППР лежат методы классификации на обучающей выборке – базе данных больных, прошедших лечение, о наличии или отсутствии осложнений, у которых известно. Выборка больных состоит из 1088 и 1269 больных, прошедших курс лечения методами КЭЭ и КАС с 2010 по 2016 гг. в отделении сосудистой хирургии ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 проф. С.В. Очаповског» г. Краснодара. При использовании метода КЭЭ осложнения были у 73 больных (6,71%); метода КАС – у 51(4,02%) больного.

Методы классификации представлены деревьями классификации и нейронными сетями. Исследования, предваряющие разработку СППР, были реализованы в среде пакета STATISTICA [8]. Ввод в программу автоматизирован. По команде пользователя необходимые для вычислений данные больного из таблицы Excel импортируются в модуль программы для предсказания возможности осложнений. Также по желанию пользователя результаты прогноза могут быть сохранены в исходной таблице.

Для каждой из групп больных при помощи коэффициента корреляции Спирмена из совокупности 37 показателей были выявлены показатели, характеризующие либо состояние больных до лечения, либо технологию оперативного лечения со статистически значимыми ($p < 0,05$) корреляционными связями с показателем Осложнения, который принимал значения «да», «нет».

Для метода КЭЭ – это качественные характеристики состояния больных (в скобках указаны их возможные значения): ХСМН – хроническая сосудисто-мозговая недостаточность (1, 2, 3, 4); ПИВСА – патологическая извитость внутренней сонной артерии (0, 1); стенокардия ФК –функциональный класс стенокардии (0, 1, 2, 3); ХСН – хроническая сердечная недостаточность (1, 2а, 2б, 3); ФК по NYHA – функциональный класс по Нью-Йоркской Ассоциации Кардиологов (0, 1, 2, 3, 4); ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких (0, 1, 2, 3); ОНМК в анамнезе – количество острых нарушений мозгового кровообращения в анамнезе (0, 1, 2); технологические – вид КЭЭ (классическая, эверсионная), «заплата» (заплата при ушивании артериотомического отверстия со значениями *Goretex, аутовена, нет)*, ВПШ (временный внутрипросветный шунт со значениями «да», «нет»).

Для метода КАС – это ХСМН, ХСН, ФК по NYHA, ХОБЛ, ОНМК в анамнезе, тип стента КАС (открытый, закрытый).

В программе *STATISTICA* реализованы методы построения бинарных деревьев классификации, основанные на ветвлении по одному показателю (предиктору). Бинарное, т.е. двоичное дерево предполагает ветвление только по двум возможным направлениям каждого предиктора. Возможность графического представления результатов и простота интерпретации во многом объясняют большую популярность деревьев классификации в прикладных областях, однако наиболее важные отличительные свойства деревьев классификации – их иерархичность и широкая применимость, а также абсолютная прозрачность процедуры классификации. Структура метода такова, что пользователь имеет возможность по управляемым параметрам строить деревья произвольной сложности, добиваясь минимальных ошибок классификации. Но по сложному дереву из-за большой совокупности решающих правил затруднительно классифицировать новый объект. Поэтому при построении дерева классификации следует найти разумный компромисс между сложностью дерева и трудоемкостью процедуры классификации. Преимуществом деревьев классификации перед другими методами классификации объектов по

обучающей выборке (обучение с учителем) – дискриминантным анализом, логит и пробит регрессии, является то, что он непараметрический, а значит предикторами модели вместе с количественными переменными могут быть качественные предикторы, принимающие текстовые значения [9].

Для технологии КЭЭ метод ветвления – полный перебор для одномерных ветвлений; при правиле остановки – прямая остановка; доли неверно классифицированных объектов – 0,02; критерия согласия Джини; при пользовательских ценах ошибок классификации, заданных *таблицей 1,* удалось построить приемлемое дерево классификации, в котором достигнут компромисс между сложностью дерева и количеством ошибочных классификаций *(рис. 1).*

Таблица 1

Матрица цен ошибок классификации

Класс	*Предсказанные (строки) и наблюдаемые (столбцы)*	
	Класс: нет	*Класс: да*
нет		10,00
да	1,00	

Вершины (узлы) дерева изображены в виде прямоугольников. Номер узла написан в левом верхнем углу прямоугольника, над которым отображено количество больных, причисленных к этому узлу. Внутри каждой вершины графы дерева изображены столбчатые диаграммы, представляющие классы (группы больных с наличием или отсутствием осложнений – «да», «нет»).

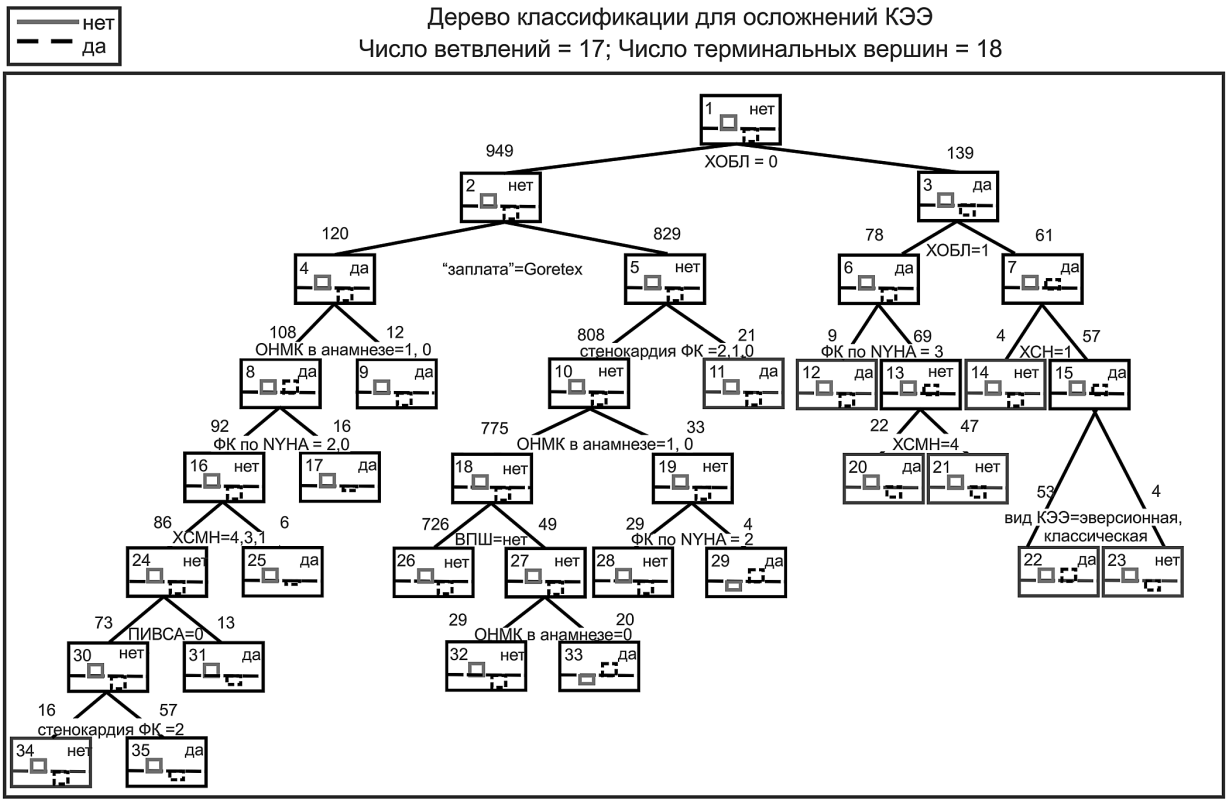


Рис. 1. **Дерево классификации возможности осложнений для метода КЭЭ**

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Об адекватности построенной модели классификации можно судить по количеству правильно классифицированных больных обучающей выборки деревом. Так, из 1015 больных группы «нет» 888 (87,5%) были правильно отнесены к группе «нет», из 73 больных группы «да» были правильно отнесены к группе «да» 65 (89%). Построить дерево приемлемых размеров с более высокой прогностической точностью не удалось из-за значительного преобладания количества больных без осложнений (1015) над числом больных с осложнениями (73) – отличие почти 14-кратное.

По дереву классификации был составлен алгоритм, при помощи которого по выделенным характеристикам больного можно предсказать возможность осложнений:

Шаг 1. Если *ХОБЛ = 0,* переходим к шагу 2, в противном случае – к шагу 13.

Шаг 2. Если *«заплата» = Goretex*, переходим к шагу 3, в противном случае – к шагу 8.

Шаг 3. Если *ОНМК в анамнезе = 1, 0,* то переходим к шагу 4, в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 4. Если *ФК по NYHA = 2, 0,* то переходим к шагу 5, в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 5. Если *ХСМН = 1, 4, 3,* переходим к шагу 6, в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 6. Если *ПИВСА = 0,* переходим к шагу 7, в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 7. Если *стенокардия ФК = 2,* больной принадлежит к группе «да», в противном случае *(стенокардия ФК = 0, 1, 3)* больной принадлежит к группе «нет».

Шаг 8. Если *стенокардия ФК = 0, 1, 2,* переходим к шагу 9, в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 9. Если *ОНМК в анамнезе = 1, 0,* то переходим к шагу 10, в противном случае – к шагу 12.

Шаг 10. Если *ВПШ = нет*, больной принадлежит к группе «нет», в противном случае переходим к шагу 11.

Шаг 11. Если *ОНМК в анамнезе = 0,* больной принадлежит к группе «нет», в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 12. Если *ФК по NYHA = 2,* больной принадлежит к группе «нет», в противном случае больной принадлежит к группе «да».

Шаг 13. Если *ХОБЛ = 1,* переходим к шагу 14, в противном случае – к шагу 16.

Шаг 14. Если *ФК по NYHA = 3,* больной принадлежит к группе «да», в противном случае переходим к шагу 15.

Шаг 15. Если *ХСМН = 4,* больной принадлежит к группе «да», в противном случае больной принадлежит к группе «нет».

Шаг 16. Если *ХСН = 1,* больной принадлежит к группе «нет», в противном случае переходим к шагу 17.

Шаг 17. Если вид *КЭЭ = эверсионная, классическая,* больной принадлежит к группе «да», в противном случае больной принадлежит к группе «нет».

Аналогично, для технологии КАС практически при тех же установках параметров модуля было построено приемлемое дерево классификации, изображенное на *рис. 2.*

Об адекватности построенной модели классификации также можно судить по количеству правильно классифицированных больных деревом. Так, из 1218 больных группы «нет» 1095 (89,9%) были правильно отнесены к группе «нет», из 51 больных группы «да» были правильно отнесены к группе «да» 43 (84,3%). Построить дерево приемлемых размеров с более высокой прогностической точностью также, как и для метода КЭЭ не удалось.

По дереву классификации был составлен алгоритм, при помощи которого по выделенным характеристикам больного можно предсказать возможность осложнений:

Шаг 1. Если *ОНМК в анамнезе = 1 или 0,* переходим к шагу 2, в противном случае

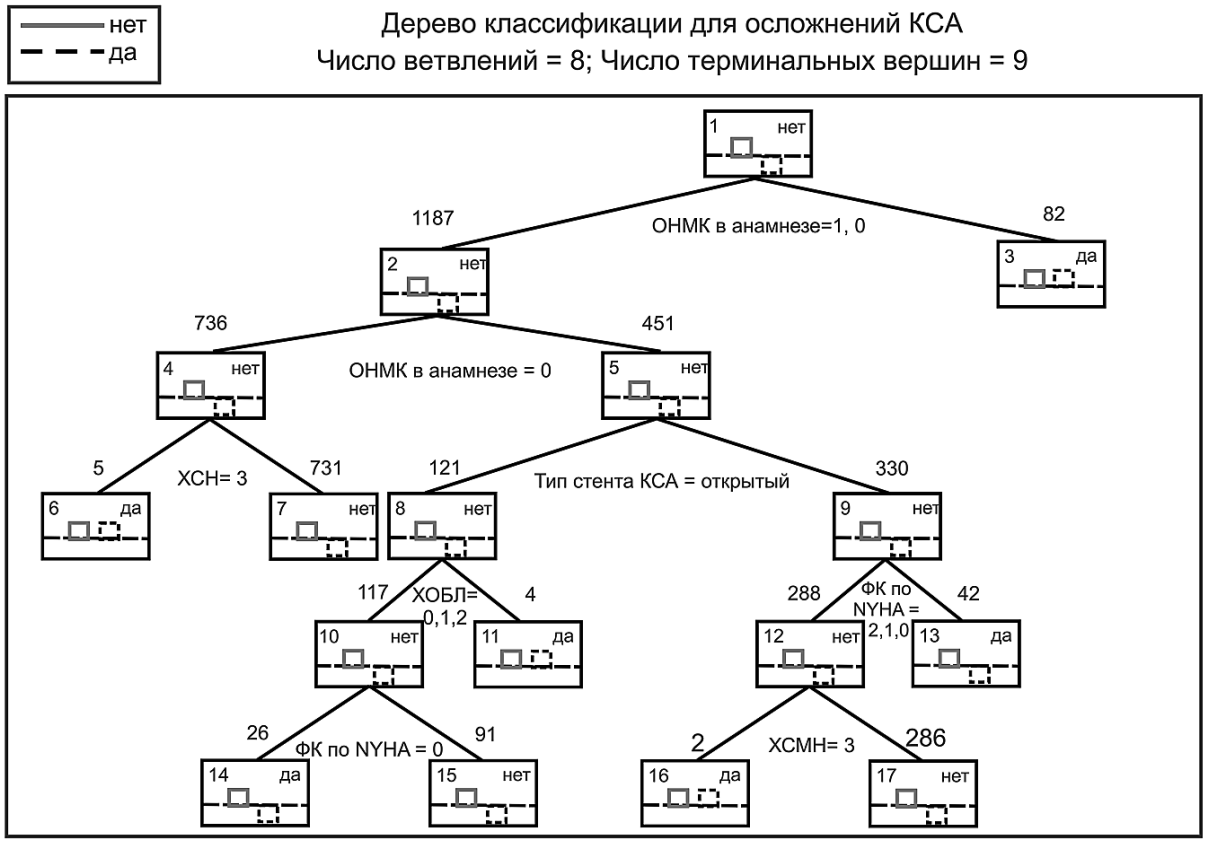


Рис. 2. **Дерево классификации возможности осложнений для метода КАС**

(ОНМК в анамнезе = 2) больной принадлежит к группе «да».

Шаг 2. Если *ОНМК в анамнезе = 0*, переходим к шагу 3, в противном случае – к шагу 4.

Шаг 3. Если *ХСН = 3,* больной принадлежит к группе «да», в противном случае – «нет».

Шаг 4. Если *тип стента ТБА = открытый,* переходим к шагу 5, в противном случае – к шагу 7.

Шаг 5. Если *ХОБЛ = 2, 1, 0* переходим к шагу 6, в противном случае *(ХОБЛ =3)* больной принадлежит к группе «да».

Шаг 6. Если *ФК по NYHA = 0,* то больной принадлежит к группе «да», в противном случае – «нет».

Шаг 7. Если *ФК по NYHA = 0, 1, 2,* то переходим к шагу 8, в противном случае *(ФК по NYHA = 3, 4)* больной принадлежит к группе «да».

Шаг 8. Если *ХСМН = 3,* то больной принадлежит к группе «да», в противном случае – к группе «нет».

Для увеличения достоверности прогнозирования возможности осложнений наряду с деревьями классификации использовали нейронные сети (многослойный персептрон – MLP), которые являются обучающимися системами, имитирующими деятельность нейронных сетей человеческого мозга [5, 6].

К сожалению, если распределения объектов в классах «кособокое», то сети дают очень высокий процент ошибочных классификаций в классе с малым количеством объектов. В нашей выборке распределение более чем «кособокое» – из 1088 больных,

лечившихся методом КЭЭ, осложнения были только у 73 больных; из 1289 больных, лечившихся методом КАС, осложнения были только у 51 больного. Поэтому для увеличения прогностической точности сетей мы вынуждены были искусственно преодолеть «кособокость», случайным образом уменьшив общие объемы выборок примерно до 10% от общего, но сохранив всех больных с осложнениями.

Нейронная сеть строится путем многократных экспериментов, и контрольная выборка играет ключевую роль при выборе наилучшей сети, становясь частью процесса обучения, для улучшения прогностических возможностей сети резервируется еще одна выборка – тестовая. Поэтому для увеличения надежности прогностических результатов нейронную сеть строили по тем же характеристикам больных, что и деревья классификации, но предварительно разбив выборки на 3 части – обучающую *(train)*, тестовую *(test)* и контрольную *(validation)*. Для метода КЭЭ объемы выборок составили соответственно 109, 12 и 6 человек.

В *таблице 2* отображено количество ошибочных классификаций для метода каротидной эндартерэктомии в трех частях выборки – обучающей, тестовой и контрольной. Архитектура MLP указана в столбце 1. Первое число указывает на количество переменных в модели сети, в нашем случае вычисляется как суммарное количество значений, принимаемых всеми качественными характеристиками состояния больных. Второе и третье – число скрытых и выходных нейронов в модели. В строке *Total* указано количество больных в группах «да», «нет» и общее количество. В строке Correct – число правильно классифицированных сетью больных, соответственно в строке Incorrect – число неверно классифицированных больных. Из таблицы видно, что верно классифицированные больные в обучающей, тестовой и контрольной

Таблица 2

Количество ошибок классификации для метода КЭЭ

	Осложнения (Classification summary) Samples: Train			
		да	*нет*	*все*
MLP 33-6-2	Total	60.000	49.000	109.000
	Correct	56.000	43.000	99.000
	Incorrect	4.000	6.000	10.000
	Correct (%) 93.333		87.755	90.825
	Incorrect (%) 6.666		12.244	9.174
	Осложнения (Classification summary) Samples: Test			
		да	*нет*	*все*
MLP 33-6-2	Total	9.000	3.000	12.000
	Correct	8.000	1.000	9.000
	Incorrect	1.000	2.000	3.000
	Correct (%) 88.888		33.333	75.000
	Incorrect (%) 11.111		66.666	25.000
	Осложнения (Classification summary) Samples: Validation			
		да	*нет*	*все*
MLP 33-6-2	Total	9.000	3.000	12.000
	Correct	8.000	1.000	9.000
	Incorrect	1.000	2.000	3.000
	Correct (%) 88.888		33.333	75.000
	Incorrect (%) 11.111		66.666	25.000

выборке составили соответственно 90,825%, 75%, 100%.

В *таблице 3* отображено количество ошибочных классификаций для метода ангиостентирования в трех частях выборки – обучающей, тестовой и контрольной, состоящих соответственно из 90, 10 и 5 человек. Из таблицы видно, что верно классифицированные больные в обучающей, тестовой и контрольной выборке составили соответственно 97,619%, 100%, 50%.

Таким образом, для каждого из методов оперативной коррекции стеноза ВСА удалось построить вполне приемлемые по точности прогноза нейронные сети, которые могут быть применены для предсказания возможности послеоперационных осложнений больных. К сожалению, нейронные сети не позволяют иллюстрировать их работу в виде алгоритма или в какой либо другой форме.

На языке Microsoft Visual C#(Sharp) было написано программное приложение, реализующее вычисления по нейронной сети и деревьям классификации. Окно программы изображено на *рис. 3.*

Работа приложения начинается с ввода номера больного в таблице Excel. После нажатия кнопки Импортировать данные, из соответствующих ячеек таблицы будут импортированы необходимые для расчетов клинико-лабораторные показатели больного. На следующем этапе следует указать метод коррекции стеноза. Если выбран метод КЭЭ, в окне появятся поля для выбора вида КЭЭ (классическая, эверсионная), Заплаты (*Goretex*, аутовена, нет), ВПШ (да, нет). Если

Таблица 3

Количество ошибок классификации для метода КАС

	Осложнения (Classification summary) Samples: Train			
		да	*нет*	*все*
MLP 22-9-2	Total	42.000	48.000	90.000
	Correct	41.000	40.000	81.000
	Incorrect	1.000	8.000	9.000
	Correct (%) 97.619		83.333	90.000
	Incorrect (%) 2.381		16.666	10.000
	Осложнения (Classification summary) Samples: Test			
		да	*нет*	*все*
MLP 22-9-2	Total	7.000	3.000	10.000
	Correct	7.000	3.000	10.000
	Incorrect	0.000	0.000	0.000
	Correct (%) 100.000		100.000	100.000
	Incorrect (%) 100.000		100.000	100.000
	Осложнения (Classification summary) Samples: Validation			
		да	*нет*	*все*
MLP 22-9-2	Total	2.000	3.000	5.000
	Correct	1.000	2.000	3.000
	Incorrect	1.000	1.000	2.000
	Correct (%) 50.000		66.666	60.000
	Incorrect (%) 50.000		33.333	40.000

Рис. 3. **Интерфейсное окно приложения**

выбран метод КАС, то появится поле с предложением выбрать тип стента (открытый, закрытый). Далее следует щелкнуть по кнопке Прогнозирование осложнений, программа произведет необходимые вычисления нейронными сетями и деревьями классификации. Результаты будут выведены в виде сообщений – прогноз неблагоприятный или прогноз благоприятный. По желанию пользователя результаты прогнозирования могут быть экспортированы в базу и сохранены в предусмотренных для этого полях.

ВЫВОДЫ

Таким образом, показана возможность использования современных технологий компьютерного анализа данных при разработке медицинской системы поддержки принятия решений, которая по клиническим показателям состояния больного и технологическим параметрам оперативного вмешательства автоматизирует прогнозирование осложнений при оперативном лечении стеноза внутренних сонных артерий методом каротидной эндартерэктомии и ангиостентированием. СППР представляет собою интегрированную систему, состоящую из статистического метода – деревьев классификации и эвристической процедуры – нейронные сети. Построение деревьев классификации и нейронной сети выполняли в среде пакета STATISTICA, но СППР представляет собою автономный программный продукт, не «привязанный» к STATISTICA – для работы пользователю не нужны знания современных технологий анализа данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов Р.А.* Каротидная эндартерэктомия и стентирование: влияние коморбидности на выбор тактики лечения / Р.А. Виноградов, И.Н. Здановская, А.А. Халафян, В.А. Акиньшина // Врач-аспирант. – 2017. – Т. 83. – № 4. – С. 4–11.

2. *Виноградов Р.А.* Сравнение рисков развития послеоперационных осложнений при каротидной эндартерэктомии и каротидной ангиопластике / Р.А. Виноградов, К.А. Лашкевич, В.С. Пыхтеев // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 133–139.

3. *Виноградов Р.А., Акиньшина В.А.* Возможности выбора варианта оперативного вмешательства в зависимости от статистически значимых факторов. Ангиология и сосудистая хирургия: материалы XXXIII Международной конференции Российского общества ангиологов и сосудистых хирургов, г. Сочи, 22–24 июня 2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.angiolsurgery.org/events/2017/06/22/theses.pdf (9.01.18). – Т. 23–2. г. Сочи, Россия, Ангиология инфо. – 2017. – С. 76–77.

4. *Гусев А.В.* Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации / А.В. Гусев, Т.В. Зарубина // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 60–72.

5. *Гусев А.В.* Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения / А.В. Гусев // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 3. – С. 92–105.

6. Нейронные сети STATISTICA Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Под редакцией Боровикова В.П. М.: Горячая линия – Телеком. – 2008. – 392 с.

7. *Халафян А.А.* Анализ и синтез медицинских систем поддержки принятия решений на основе технологий статистического моделирования. Краснодар 2010, автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.

8. *Халафян А.А.* STATISTICA 6. Математическая статистика с элементами теории вероятностей. М.: Бином. – 2010. – 491 с.

9. *Халафян А.А.* Современные статистические методы медицинских исследований. М.: URSS, ЛКИ. – 2013. – 320 с.

С.П. МОРОЗОВ,
д.м.н., профессор, ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва
А.В. ВЛАДЗИМИРСКИЙ,
д.м.н., ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва
Н.В. ЛЕДИХОВА,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва
Е.С. КУЗЬМИНА,
ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва

«ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ОПИСАНИЯ» – ТЕЛЕРАДИОЛОГИЯ ПО СУБСПЕЦИАЛИЗАЦИЯМ

УДК 615.84+616-073.75

Морозов С.П., Владзимирский А.В., Ледихова Н.В., Кузьмина Е.С. ***«Перекрестные описания» – телерадиология по субспециализациям*** *(ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва)*

Аннотация. Описана модель системного использования телерадиологии, позволяющая реализовать описание результатов лучевых исследований по субспециализациям в условиях первичного звена медико-санитарной помощи детскому населению. Внедрение модели обеспечило повышение качества описания компьютерных томографий по субспециализации «нейрорадиология» (удельный вес исследований с замечаниями и расхождениями снизился с 42,0% до 20,0%).

Ключевые слова: *лучевая диагностика, телемедицина, телерадиология, первичная медицинская помощь, поликлиника, телеаудит.*

UDC 615.84+616-073.75

Morozov S.P., Vladzymyrskyy A.V., Ledikhova N.V., Kuzmina E.S. ***«Cross-reporting» as a way for sub-speciality teleradiology*** *(Research and Practical Center of Medical Radiology, Department of Health Care of Moscow)*

Abstract. There is an original telemedicine-based approach for a sub-speciality reporting of a radiology examinations at primary level facilities. This approach allows to increase quality of «neuroradiology» reporting at children. The level of discrepancies decreased from 42,0% to 20,0%.

Keywords: *radiology, telemedicine, teleradiology, primary care, out-patient hospital, distant peer-review.*

Развитие принципов и методов персонализированной медицины требует все большей скрупулезности, точности диагностических и клинических решений. Выраженный индивидуализированный характер таких решений, в том числе, обеспечивается углубленной специализацией врачей. В связи с этим значение субспециализаций в лучевой диагностике становится все более высоким. Более того существует мнение о необходимости совершенствования процесса направления пациента вра-

© *С.П. Морозов, А.В. Владзимирский, Н.В. Ледихова, Е.С. Кузьмина, 2018 г.*

чами-клиницистами к радиологу определенной субспециализации. Предполагается даже, что для оценки корректности такого направления могут использоваться не только финансовые, но и медицинские индикаторы. Например, такие как частота повторных госпитализаций, инфекционных осложнений и т.д., обусловленные неточной или несвоевременной диагностикой вследствие некорректного направления [15]. Обсуждаются вопросы классификаций по субспециальностям с позиций организации работы, обучения врачей, особенностей частного сектора здравоохранения; более точное определение навыков и возможностей конкретного специалиста должно положительно сказываться на управленческих и финансовых аспектах деятельности [25].

В целом, известны и хорошо описаны несколько моделей организации «радиологических консультаций», в том числе: «клиническая», «пациент-центрированная», «гибридная», а также – «модель субспециализаций». В рамках последней взаимодействуют клиницист и радиолог «узкой» специализации с целью экспертной интерпретации результатов исследования и оптимизации плана лечения; эффективная реализация модели улучшает качество и исходы медицинской помощи [13, 16].

Теоретические обобщения подтверждаются практическими исследованиями. Например, детально изучено значение субспециализаций врачей в лучевой диагностике злокачественных опухолей. У пациентов с новообразованиями органов грудной клетки повторное стадирование, проводимое врачом-радиологом с субспециализацией (в условиях экспертного центра третьего уровня медицинской помощи), является достоверно более точным и оказывает позитивное влияние на всю тактику лечения [11]. В целом показано, что удельный вес значимых расхождений между описаниями новообразований врачами-радиологами и радиологами-специалистами достигает 41–49%, при этом достоверно меняются классификация стадии процесса (34–56%), тактика лечения (38–98%) и прогноз (95%) [16].

Также, благодаря работе радиологов с субспециализацией, значительно улучшается качество диагностики (а косвенно и лечения) заболеваний опорно-двигательной, мочеполовой систем, органов брюшной полости [12, 16, 23]. Например, уровень клинически значимых расхождений, существенно влияющих на тактику лечения, достигает 22,2% при повторном описании магнитно-резонансных томограмм опорно-двигательной системы врачом с соответствующей субспециализацией [26].

Подчеркивается важность субспециализации в педиатрии. Особенности не только анатомии и физиологии, но даже психологии детского возраста буквально «вынуждают» врачей-радиологов проходить специальную подготовку [9].

Обсуждаются вопросы профессиональной подготовки по субспециальностям [2]. В 2017 г. проведено исследование системы подготовки врачей-рентгенологов в 22 европейских странах. Установлено, что в 55% из них существуют отдельные ординатуры по субспециальностям. Наиболее распространены программы по интервенционной радиологии, нейрорадиологии, лучевой диагностике в педиатрии, ядерной медицине. Чуть более, чем в 36% стран подготовку по субспециальностям отдельно проводят национальные профессиональные сообщества. В целом до 50% врачей и резидентов предпочитают проходить субспециализацию за рубежом. Относительно числа программ ординатур по субспециальностям отмечен значительный рост по сравнению с аналогичным исследованием 2004 г. [24].

Актуальность развития системы субспециализаций подтверждается и результатами библиометрических исследований, публикаций в значимых международных журналах. Такой анализ демонстрирует постоянный рост не только значимости субспециализаций в целом, но и дает возможность выявить наиболее

изучаемые направления. В их числе: интервенционные исследования, нейрорадиология, лучевые исследования в педиатрии, функциональные исследования, «голова-шея» и т.д.

Подчеркнем, что педиатрическая специализация радиологов занимает одну из ведущих позиций по значимости (что подтверждается как клиническими, так и теоретическими исследованиями).

Таким образом, в глобальной перспективе субспециализация в лучевой диагностике стала своеобразным стандартом [13]. Однако практическая реализация этого стандарта крайне затруднена кадровой проблемой: наличием и доступностью врачей-экспертов требуемого профиля.

Как в целом в здравоохранении, так и в лучевой диагностике в частности вопрос дефицита кадров и доступности экспертизы решается путем применения специальных инструментов – телемедицинских технологий. Несколько десятилетий нарастающего по интенсивности применения телемедицины в радиологии привели к формированию своеобразной субдисциплины – телерадиологии, изучающей дистанционную интерпретацию результатов лучевых методов исследований различных органов и систем, а также организацию лучевой диагностики посредством использования информационно-телекоммуникационных систем. Использование телерадиологии для поддержки принятия диагностических решений, проведения телеконсультаций и обучения на рабочем месте хорошо известно [1]. В последние годы все больший интерес вызывает значимость телемедицинских технологий для более рациональной организации работы службы лучевой диагностики [3, 4].

Телерадиология – достаточно универсальный инструмент решения проблемы кадрового дефицита; это утверждение распространяется и на обеспечение доступности радиологов с субспециализациями. Первые примитивные разработки в сфере «телерадиологии по субспециализациям» появились еще в конце 1990х гг. [18, 19]. Отдельно следует отметить использование субспециализации и телемедицинских технологий при анализе цифровых флюорограмм, получивших широкое применение в России в конце 1990-х годов в ходе восстановления противотуберкулезной службы и массового внедрения цифровых малодозовых флюорографов, в том числе в составе мобильных телемедицинских комплексов. Необходимость специализации врачей-рентгенологов, вовлеченных в описываемую работу, была обусловлена возможностью применения метода у детей (в силу минимальной лучевой нагрузки), а также – для выявления онкологической патологии [5]. В настоящее время в США практически все крупные университетские клиники предоставляют коммерческие (широко востребованные и интенсивно конкурирующие) телерадиологические сервисы, делающие акцент именно на дистанционную интерпретацию результатов лучевых исследований по субспециализациям [20]. Причем многие такие сервисы активно выходят на международный рынок, предлагая трансграничные услуги [21]. Показатели эффективности именно телерадиологических описаний врачами со субспециализациями аналогичны приведенным выше данным; например, удельный вес расхождений при описании компьютерных и магнитно-резонансных томограмм превышает 21%, при этом характер клинически значимых имеют до 99% из них [22]. Вместе с тем на уровне общего числа публикаций по телерадиологии аспекты «телерадиологии по субспециализациям» изучены явно недостаточно. В частности, нет детальных исследований по отдельным модальностям, локализациям, нозологиям; отсутствуют данные о методических вопросах внедрения этого способа применения телемедицинских технологий.

В Российской Федерации телерадиология применяется на определенном уровне [4, 6, 8], однако по настоящему масштабному

развитию телерадиологии препятствуют преимущественно организационные проблемы (включая стратегию внедрения, кадровые, нормативные, финансовые аспекты, контроль качества и т.д.). В связи с выявленными тенденциями была поставлена следующая цель исследования.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать и апробировать модель «телерадиология по субспециализациям» в условиях первичного звена медико-санитарной помощи детскому населению как метода повышения качества лучевой диагностики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на базе ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии ДЗМ» (далее – ГБУЗ «НПЦ МР ДЗМ»): в рамках пилотного проекта «Перекрестные описания» (период наблюдения 17.09.2017–01.11.2017) организовано дистанционное (телемедицинское) взаимодействие между ГБУЗ г. Москвы «Детская городская поликлиника № 39 ДЗМ» (далее – «ДГП № 39») и «Детская городская поликлиника № 148 ДЗМ» (далее – «ДГП № 148»).

Исследуемая модальность: компьютерная томография (КТ). В группу пациентов вошли дети в возрасте от 1 года до 17 лет. Описания исследований проводились врачами-рентгенологами по 4 субспециализациям: «нейрорадиология», «голова-шея», «торакальная рентгенология», «мышечно-скелетная рентгенология».

Для реализации дистанционного (телемедицинского) взаимодействия использован Единый радиологический информационный сервис (ЕРИС) – информационная система в сфере здравоохранения, оператором которой является ГБУЗ «НПЦ МР ДЗМ». Функционально ЕРИС представляет собой централизованный архив медицинских изображений г. Москвы с акцентом на дистанционный аудит рентгенорадиологических исследований (телеаудит) и телемедицинские консультации [3].

В ЕРИС зарегистрированы все медицинские работники отделений лучевой диагностики медицинских организаций первичного звена ДЗМ.

Посредством ЕРИС обеспечиваются:

- накопление результатов исследований;
- маршрутизация исследований, отмеченных по некому признаку, конкретному врачу для выполнения описания или пересмотра в целях контроля качества (при этом поддерживается анонимизация);
- контроль производственных процессов, а также загруженности и технологических параметров работы медицинской аппаратуры.

Детальное описание ЕРИС публикуется в отдельной серии работ.

Для сравнительного анализа использованы результаты всех КТ по субспециализации «нейрорадиология», выполненных и описанных до (в период 01.03.2017–17.09.2017) и после (в период 18.09.2017–31.10.2017) начала проекта. Соответственно в первую группу вошли материалы 96 исследований, во вторую – 102. Длительность первого периода обусловлена сроками подключения медицинских организаций к ЕРИС и начала стабильной работы.

Анализ качества проводится по оригинальной методике телеаудита рентгенорадиологических исследований [3].

Статистический анализ базировался на количественных показателях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Работа врачей по субспециализациям стала «золотым стандартом» в лучевой диагностике. Однако обеспечить наличие должного числа квалифицированных специалистов в медицинских организациях (МО) первичного звена практически невозможно (в силу ресурсных и финансовых ограничений непреодолимой силы). В данной ситуации применение

Рис. 1. **Схема модели «телерадиология по субспециализациям»**

телемедицинских технологий является безальтернативным.

Модель «телерадиология по субспециализациям» – это способ системного применения телемедицинских технологий в службе лучевой диагностики. Его основная цель – обеспечить возможность дистанционного описания результатов рентгенорадиологических исследований врачами, имеющими определенную субспециализацию, без наращивания кадровых ресурсов и увеличения затрат *(рис. 1).*

В рамках модели выполняют следующие действия:

– Проводят общее стратегическое планирование (в соответствии с методологией организации телемедицинской деятельности [1].

– Организуют телемедицинскую сеть отделений лучевой диагностики, используя региональную радиологическую информационную систему (или информационную систему в сфере здравоохранения – региональный компонент ЕГИСЗ).

– Для каждого отделения и в целом для сети МО формируют списки врачей по субспециализациям, расписания их работы.

– Исходя из наличия и графиков работы врачей по субспециализациям настраивают маршрутизацию исследований в используемой информационной системе.

– Этапно обучают пользователей.

– Проводят тестовый и рутинный запуск телемедицинской сети.

– Контролируют эффективность.

При реализации модели в каждом отделении лучевой диагностики выполняются исследования; результаты части из них маршрутизируются, в соответствии с настройками в сети, в иные МО для описания врачами по субспециализациям. Остальные исследования описываются врачами по месту непосредственного выполнения. Оплата медицинских услуг в рамках модели реализуется 2 путями: оформлением врачей в качестве внешних совместителей, введением тарифов на раздельное финансирование. В рамках пилотного проекта, детально описанного далее, был выбран первый путь. Однако для оптимального и системного решения вопроса финансирования ГБУЗ «НПЦ МР ДЗМ» подготовлен и представлен в территориальный фонд

обязательного медицинского страхования проект тарифа, предусматривающий раздельную оплату непосредственного выполнения исследования и описания его результатов.

Для практической реализации и апробации модели ГБУЗ «НПЦ МР ДЗМ» при участии двух МО первичного звена осуществил проект «Перекрестные описания».

На базе ЕРИС была сформирована телемедицинская сеть с особыми настройками маршрутизации результатов компьютерных томографий по четырем субспециализациям («нейрорадиология», «голова-шея», «торакальная рентгенология», «мышечно-скелетная рентгенология»). После обучения пользователей и запуска сети в период 18.09.2017–31.10.2017 проведено 624 компьютерных томографии, описание которых выполнено дистанционно посредством ЕРИС. По субспециализации «нейрорадиология» проведено 33,0% (207) исследований, «торакальная рентгенология» – 30,0% (183), «голова-шея» – 23,0% (145), «мышечно-скелетная рентгенология» – 14,0% (89).

Дополнительно отметим: наличие телемедицинской сети с налаженным процессом маршрутизации исследований потенциально обеспечивает минимизацию простоя оборудования во время отсутствия врача по объективным причинам (в такой период исследования без контрастного усиления могут выполняться рентгенолаборантом).

Для оценки эффективности модели «телерадиология по субспециализациям» выполнен телеаудит КТ центральной нервной системы, выполненный до и после внедрения телемедицинских технологий. Выбор субспециализации «нейрорадиология» обусловлен преобладанием числа соответствующих исследований, а также безусловной особой ее клинической значимостью. Примечательно, что именно исследования центральной нервной системы у детей лидируют по числу направлений на повторную интерпретацию в контексте контроля качества [17].

В результате телеаудита, выполненного квалифицированными специалистами ГБУЗ

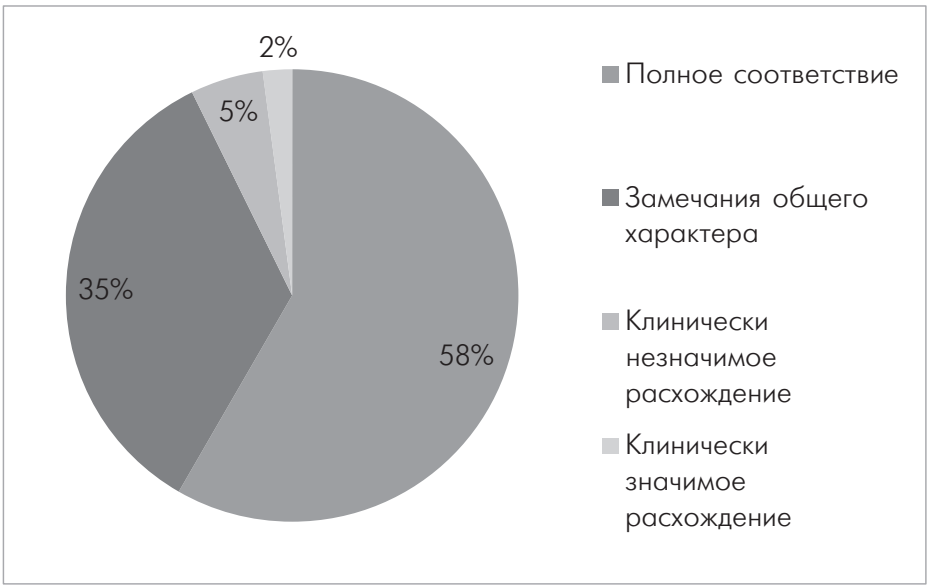


Рис. 2. **Результаты телеаудита результатов радиологических исследований по субспециализации «нейрорадиология», проведенных и описанных до системного внедрения телерадиологии**

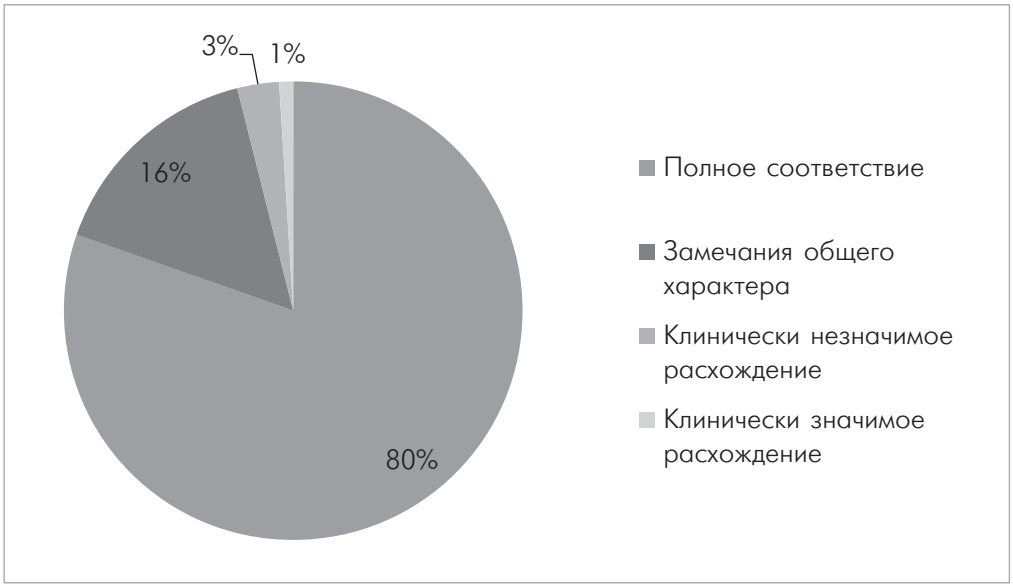


Рис. 3. **Результаты телеаудита результатов радиологических исследований по субспециализации «нейрорадиология», проведенных и описанных после системного внедрения телерадиологии**

«НПЦ МР ДЗМ», определено количество исследований с клинически значимыми и незначимыми расхождениями, а также – с замечаниями общего характера. Результаты представлены на *рис. 2–3.*

После внедрения телерадиологии (обеспечившей дистанционное описание исследований врачами-радиологами, имеющими субспециализации) удельный вес исследований, к которым предъявлялись какие-либо замечания, снизился с 42,0% до 20,0%. При этом уровень клинически значимых расхождений снизился с 2,0% до 1,0%, а незначимых – с 5,0% до 3,0%. Удельный вес замечаний общего характера также уменьшился с 35,0% до 16,0%. Таким образом, благодаря системному применению телерадиологии доля КТ по субспециализации «нейрорадиология», выполненных с высоким уровнем качества, возросла с 58,0% до 80,0%. Системное использование телемедицинских технологий обеспечивает стандартизацию доступности и качества медицинской помощи [1]. В данном исследовании этот тезис полностью подтверждается отсутствием значимых различий в оценке качества КТ, выполненных в обеих медицинских организациях после внедрения телерадиологии. Благодаря выполняемым дистанционно и описаниям по субспециализациям в «ДГП № 39» удельный вес исследований с высоким уровнем качества возрос с 69,0% до 84,0%, а в «ДГП № 148» – с 45,0% до 77,0%.

Отсутствие единых критериев оценки расхождений делает невозможным прямое сравнение полученных данных с литературными. Вместе с тем можно констатировать, что согласно зарубежным публикациям уровень ошибок и расхождений в описаниях лучевых исследований центральной нервной системы составляет от 2 до 42% [10, 17].

Дополнительным значимым преимуществом предлагаемой модели является минимизация времени простоя оборудования, вызванного отсутствием врача (например, при временной утрате нетрудоспособности или

при очном прохождении курсов последипломного обучения).

Развитие предлагаемой модели полностью соответствует российским и мировым трендам перехода к цифровому здравоохранению [7] как важнейшей составной части цифровой экономики.

Данная публикация носит предварительный характер, ее ограничения связаны с относительно коротким периодом наблюдения и малым объемом выборки, прошедшей телеаудит. Дальнейшие исследования будут посвящены углубленному анализу динамики качества КТ по всем субспециализациям, изучению отношения врачей и организаторов здравоохранения к внедрению телерадиологии, анализу финансовой результативности.

ВЫВОДЫ

Телемедицинские технологии позволяют реализовать наиболее актуальный производственный процесс в современной радиологии – описание результатов лучевых исследований по субспециализациям.

Системное внедрение телерадиологии минимизирует сроки простоя высокотехнологичного оборудования для лучевой диагностики, возникающего в силу кадрового дефицита.

Внедрение модели «телерадиологии по субспециализациям» в условиях первичного звена медико-санитарной помощи детскому населению обеспечило повышение качества описания компьютерных томографий по субспециализации «нейрорадиология» (удельный вес исследований с замечаниями и расхождениями снизился с 42,0% до 20,0%).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владзимирский А.В.* Телемедицина: Curatio Sine Tempora et Distantia. М., 2016. 663 с.

2. *Игнатьев Ю.Т., Хомутова Е.Ю., Рубин М.П., Низовцова Л.А., Линденбратен Л.Д.* Реорганизация системы подготовки кадров лучевых специалистов в период 2010–2020 гг. Радиология – практика. – 2009. – № 2. – С. 62–71.

3. *Морозов С.П.* От «невидимого» радиолога – к ответственности за результат // Московская медицина. – 2016. – № 3. – С. 78–86.

4. *Морозов С.П., Переверзев М.О.* Лучевая диагностика – авангард информатизации здравоохранения //Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2013. – Т. 3. – № 3. – С. 41–50.

5. *Натензон М.Я., Райков А.Н.* Мобильные телемедицинские комплексы в системе национальной безопасности. Межотраслевая информационная служба. – 2016. – № 1 (174). – С. 68–77.

6. *Смаль Т.С., Завадовская В.Д., Деев И.А.* Применение телемедицинской технологии в лучевой диагностике для организации медицинского обслуживания территорий с низкой плотностью населения // Социальные аспекты здоровья населения. – 2017. – Т. 53. – № 1. – С. 1–9.

7. *Соколов И.А., Натензон М.Я., Цыганков В.С.* Российские и международные тренды в создании и эксплуатации телемедицинских систем. Электросвязь. – 2017. – № 11. – С. 89–92.

8. *Терновой С., Синицын В., Устюжанин Д., Пьяных О.* Телерадиология в России: современной состояние // Врач. – 2008. – № 3. – С. 6–8.

9. *Bielsa IR.* Pediatric Nuclear Medicine and its Development as a Specialty. Semin Nucl Med. 2017 Mar; 47(2): 102–109. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2016.10.004.

10. *Caranci F, Tedeschi E, Leone G et al.* Errors in neuroradiology. Radiol Med. 2015 Sep; 120(9): 795–801. doi: 10.1007/s11547-015-0564-7.
11. *Carter B.W., Erasmus J.J., Truong M.T. et al.* Quality and Value of Subspecialty Reinterpretation of Thoracic CT Scans of Patients Referred to a Tertiary Cancer Center. J Am Coll Radiol. 2017 Aug; 14(8): 1109–1118. doi: 10.1016/j.jacr.2017.02.004.
12. *Chalian M., Del Grande F., Thakkar R.S. et al.* Second-Opinion Subspecialty Consultations in Musculoskeletal Radiology. AJR Am J Roentgenol. 2016 Jun; 206(6): 1217–21. doi: 10.2214/AJR.15.14540.
13. *Cheng L.T., Ng S.E.* Teleradiology in Singapore – taking stock and looking ahead. Ann Acad Med Singapore. 2006 Aug; 35(8): 552–6.
14. *Choudhri A.F., Castillo M.* Subspecialty Virtual Impact Factors within a Dedicated Neuroimaging Journal. AJNR Am J Neuroradiol. 2015 Oct; 36(10): 1810–3. doi: 10.3174/ajnr.A4380.
15. *Cunningham S.C., Farooqui S.* Subspecialty radiology and surgery. Hepatobiliary Pancreat Dis Int. 2013 Apr; 12(2): 122–4.
16. *DiPiro P.J., Krajewski K.M., Giardino A.A., Braschi-Amirfarzan M., Ramaiya N.H.* Radiology Consultation in the Era of Precision Oncology: A Review of Consultation Models and Services in the Tertiary Setting. Korean J Radiol. 2017 Jan-Feb; 18(1): 18–27. doi: 10.3348/kjr.2017.18.1.18.
17. *Eakins C., Ellis W.D., Pruthi S et al.* Second opinion interpretations by specialty radiologists at a pediatric hospital: rate of disagreement and clinical implications. AJR Am J Roentgenol. 2012 Oct; 199(4): 916–20.
18. *Franken E.A. Jr., Berbaum K.S., Brandser E.A. et al.* Pediatric radiology at a rural hospital: value of teleradiology and subspecialty consultation. AJR Am J Roentgenol. 1997 May; 168(5): 1349–52.
19. *Franken E.A. Jr., Berbaum K.S.* Subspecialty radiology consultation by interactive telemedicine. J Telemed Telecare. 1996; 2(1): 35–41.
20. *Hunter T.B., Krupinski E.A.* University-Based Teleradiology in the United States. Healthcare (Basel). 2014 Apr 15; 2(2): 192–206. doi: 10.3390/healthcare2020192.
21. *Kalyanpur A., Neklesa V.P., Pham D.T. et al.* Implementation of an international teleradiology staffing model. Radiology. 2004 Aug; 232(2): 415–9.
22. *Kangarloo H., Valdez J.A., Yao L. et al.* Improving the quality of care through routine teleradiology consultation. Acad Radiol. 2000 Mar; 7(3): 149–55.
23. *Lindgren E.A., Patel M.D., Wu Q., Melikian J., Hara A.K.* The clinical impact of subspecialized radiologist reinterpretation of abdominal imaging studies, with analysis of the types and relative frequency of interpretation discrepancies. Abdom Imaging. 2014 Oct; 39(5): 1119–26. doi: 10.1007/s00261–014–0140-y.
24. *Rehani B., Zhang Y.C., Rehani M.M. et al.* Radiology education in Europe: Analysis of results from 22 European countries. World J Radiol. 2017 Feb 28; 9(2): 55–62. doi: 10.4329/wjr.v9.i2.55.
25. *Rosenkrantz A.B., Wang W., Hughes D.R.* Academic Radiologist Subspecialty Identification Using a Novel Claims-Based Classification System. AJR Am J Roentgenol. 2017 Jun; 208(6): 1249–1255. doi: 10.2214/AJR.16.17323.
26. *Rozenberg A., Kenneally B.E., Abraham J.A. et al.* Clinical Impact of Second-Opinion Musculoskeletal Subspecialty Interpretations During a Multidisciplinary Orthopedic Oncology Conference. J Am Coll Radiol. 2017 Jul; 14(7): 931–936. doi: 10.1016/j.jacr.2017.01.006.

К.А. ВИНОГРАДОВ,
д.м.н., профессор, заведующий кафедрой медицинской кибернетики и информатики, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, vinogradov16@yandex.ru
В.В. БЫКОВА,
д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры высшей и прикладной математики, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, bykvalen@mail.ru
А.Н. НАРКЕВИЧ,
к.м.н., заведующий научно-исследовательской лабораторией медицинской кибернетики и управления в здравоохранении, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, narkevichart@gmail.com
А.В. КАТАЕВА,
инженер-программист отдела АСУ, Краевая клиническая больница, г. Красноярск, alisite@mail.ru

СОКРАЩЕНИЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В АНАЛИЗЕ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛЕКАРСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВОЗБУДИТЕЛЯ У БОЛЬНЫХ ТУБЕРКУЛЕЗОМ ЛЕГКИХ

УДК 004.891:61

Виноградов К.А., Быкова В.В., Наркевич А.Н., Катаева А.В. ***Сокращение признакового пространства в анализе множественной лекарственной устойчивости возбудителя у больных туберкулезом легких*** *(Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск; Сибирский федеральный университет, г. Красноярск; Краевая клиническая больница, г. Красноярск)*

Аннотация. В диагностике и лечении туберкулеза легких существенным является раннее выявление наличия множественной лекарственной устойчивости микобактерий к основным противотуберкулезным препаратам. Использование математических методов и информационных технологий на начальном этапе способствует эффективному решению этой медицинской проблемы, благодаря исключению из множества рассматриваемых признаков (показателей состояния здоровья пациента) тех признаков, которые не являются информативными. Для оценки информативности признаков в анализе множественной лекарственной устойчивости используется метод Кульбака. Отбор признаков осуществляется на основе отсортированного (по информативности) списка признаков путем оценки качества классификации, выполняемой с помощью ROC-анализа. Выполненные исследования показали, что отобранные предложенным алгоритмом шесть признаков (из 26 рассматриваемых) позволяют с высокой вероятностью выделить пациентов, микобактерии у которых не обладают множественной лекарственной устойчивостью, что создает необходимые условия для их адекватного лечения.

Ключевые слова: *диагностика туберкулеза легких, множественная лекарственная устойчивость микобактерий, сокращение признакового пространства, метод Кульбака, ROC-анализ.*

UDC 004.891:61

Vinogradov K.A., Bykova V.V., Narkevich A.N., Kataeva A.V. ***Reduction of the features space when processing multiple drug resistance of mycobacteria in patients with pulmonary tuberculosis*** *(Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia; Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; Regional Clinical Hospital, Krasnoyarsk, Russia)*

Abstract. Early detection of the presence of multiple drug resistance of mycobacteria to essential antituberculosis drugs is relevant in the diagnosis and treatment of pulmonary tuberculosis. Mathematical methods and information technol-

© К.А. Виноградов, В.В. Быкова, А.Н. Наркевич, А.В. Катаева, 2018 г.

ogies can help solving this medical problem by excluding those not informative features from the set of features (indicators of the patient's health status). The Kulbak method is used for assessment of informative features of the multiple drug resistance. The selection of features is made by the sorted (by informativeness) list of features through evaluating the quality of classification performed by ROC analysis. The performed researches showed that 6 features selected from the suggested method (out of 26 considered) allow to select patients with high probability of not having multiple drug resistance, which creates conditions for their adequate treatment.

Keywords: *diagnostics of pulmonary tuberculosis, multiple drug resistance of mycobacteria, reduction of the features space, Kulbak method, ROC analysis.*

ВВЕДЕНИЕ

Современные медицинские информационные системы позволяют накапливать и хранить огромное множество медицинских данных. Из этих данных возможно извлечение знаний для дальнейшего их использования в системах принятия решений при диагностике заболеваний. Такие системы должны обладать простотой сбора данных и однозначностью интерпретации результатов, помогать врачам своевременно и точно определять диагноз пациента [1]. В диагностике и лечении туберкулеза легких существенным является раннее определение наличия множественной лекарственной устойчивости микобактерий к противотуберкулезным препаратам.

Множественная лекарственная устойчивость (МЛУ) – устойчивость микобактерий, вызывающих туберкулез легких, к двум основным противотуберкулезным препаратам, таким как изониазид и рифампицин, вне зависимости от наличия устойчивости к другим противотуберкулезным препаратам [2]. В настоящее время для решения данной медицинской проблемы стандартными диагностическими средствами затрачивается от 20 до 90 дней с момента выявления заболевания, что ведет к существенному снижению эффективности лечения на начальных этапах [3, 4]. Это объясняется тем, что лечение пациенту назначается вслепую еще до получения результатов исследования наличия МЛУ возбудителя туберкулеза. Только после получения результатов данного исследования лечение корректируется и препараты, к которым микобактерии туберкулеза имеют устойчивость, заменяются препаратами, к которым у возбудителя сохранена чувствительность.

Использование математических методов и информационных технологий на начальном этапе позволяет повысить эффективность диагностики МЛУ, благодаря исключению неинформативных (с точки зрения верной диагностики) признаков [5, 6, 11].

Целью исследования явилась разработка алгоритма, определяющего методику отбора наиболее информативных признаков при выявлении наличия МЛУ микобактерий к основным противотуберкулезным препаратам, а также создание программных средств, позволяющих использовать данную методику в медицинской практике.

МЕТОДЫ

Признаком принято называть некоторый показатель или определенную характеристику объекта произвольной природы. Система признаков рассматриваемого множества объектов образует признаковое пространство, а совокупность значений признаков отдельного объекта определяет признаковое описание этого объекта [6]. Различают несколько типов признаков. Количественные (числовые) признаки – это признаки, значения которых можно измерить в некоторой числовой шкале. Качественные (порядковые, балльные) признаки измеряются в порядковых шкалах и применяются для выражения терминов и понятий, не имеющих числового выражения (например, тяжесть заболевания). Номинальные признаки – это признаки, определяемые шкалой наименований (например, группа крови, пол).

При анализе таких признаков часто каждую отметку номинальной шкалы считают отдельным признаком, принимающим одно из двух значений 1 («да») или 0 («нет»). Присвоение числовых значений качественным и номинальным признакам в анализе данных принято называть шкалированием [7]. После шкалирования к качественным и номинальным признакам возможно применение различных методов численного анализа, включая статистические методы.

В медицинской диагностике в роли объектов выступают пациенты, а в качестве признаков – показатели их состояния здоровья. Признаковое описание пациента является, по сути, формализованной историей болезни пациента и может включать в себя значения несколько десятков признаков, многие из которых могут оказаться неинформативными с точки зрения решаемой диагностической задачи. Одна и та же система признаков может быть информативной для решения одной диагностической задачи и неинформативной для другой [5].

В анализе МЛУ микобактерий к основным противотуберкулезным препаратам приходится иметь дело с высокоразмерными данными. Традиционно рассматривают 26 признаков, которые перечислены во втором столбце *таблицы 1* [3]. Каждый из этих признаков имеет отчетливую трактовку (интерпретацию), указанную в третьем столбце этой таблицы. Большинству признаков из *таблицы 1* присущ номинальный тип. Признаковое описание всякого пациента, исследуемого на МЛУ, включает значения всех этих показателей.

На языке математики задача отбора признаков формулируется следующим образом. Пусть задана выборка A, характеризующая некоторую группу пациентов через множество признаков $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$. Для всякого пациента $a \in A$ известно его признаковое описание $\{x_1(a), x_2(a), ..., x_n(a)\}$ – n-мерный вектор, i-я координата которого равна значению i-го признака. Совокупность признаковых описаний всех пациентов из A представлено матрицей размера $|A| \times n$, где $|A|$ – число пациентов, включенных в выборку A. Пусть $I(Z)$ – некоторая мера информативности подмножества признаков $Z \subseteq X$, определенная относительно A. Требуется среди всех 2^n различных подмножеств множества X выбрать подмножество $Z^* \subseteq X$ с максимальной мерой информативности:

$$I(Z^*) = \max_{Z \subseteq X} \{I(Z)\}. \quad (1)$$

В теории машинного обучения данная задача называется FEATURES SELECTION (селекция признаков) [7]. Задача FEATURES SELECTION носит переборный характер и имеет высокую вычислительную сложность. Последнее означает, что время нахождения оптимального решения данной задачи при большом числе признаков в X может быть очень велико, поскольку процесс его нахождения включает в себя генерацию всех подмножеств $Z \subseteq X$, оценивание их информативности с помощью меры $I(Z)$ и выбор наиболее информативного подмножества Z^* согласно критерию (1) [7, 9]. Поэтому на практике довольствуются приближенными (близкими к оптимальным) решениями задачи FEATURES SELECTION. Такие решения могут быть найдены методами факторного анализа и экстремальной группировки признаков [8].

Наиболее известным представителем факторного анализа является метод главных компонент, суть которого состоит в рассмотрении всех возможных линейных комбинаций признаков из X и конструировании меньшего по мощности множества $Z \subseteq X$ с информативностью, равнозначной информативности множества признаков X в целом. В методе экстремальной группировки вначале для X вычисляется корреляционная матрица, затем множество X разбивается на группы так, чтобы внутри одной группы признаки были сильно скоррелированы, а между группами наблюдалась бы относительно слабая корреляция.

Таблица 1

Множество признаков, анализируемых при диагностике МЛУ

№	*Наименование признака*	*Описание признака*	*Типпризнака*
1	Населенный пункт	Населенный пункт – место проживания	Номинальный
2	Район	Район проживания пациента	Номинальный
3	Должность	Должность, занимаемая пациентом	Номинальный
4	Место работы	Место работы пациента	Номинальный
5	Первое сопутствующее заболевание	Наличие первого сопутствующего заболевания	Номинальный
6	Первое осложнение	Наличие осложнения	Номинальный
7	Возраст	Возраст пациента	Числовой
8	Место жительства	Местность проживания пациента	Номинальный
9	Сроки ПФЛГО	Время с момента предыдущего проверочного флюорографического обследования	Качественный
10	Вторая форма	Наличие дополнительно внелегочной формы туберкулезного процесса	Номинальный
11	Объем поражения	Объем поражения легочной ткани	Качественный
12	Форма	Клиническая форма туберкулеза	Номинальный
13	Второе сопутствующее заболевание	Наличие второго сопутствующего заболевания	Номинальный
14	ДТЛ	Наличие тотального поражения легких	Номинальный
15	Пол	Пол пациента	Номинальный
16	Статус	Социальный статус пациента	Номинальный
17	Возрастная группа	Возрастная группа пациента	Качественные
18	Рассасывание	Наличие туберкулезного процесса в фазе рассасывания	Номинальный
19	Инфильтрация	Наличие туберкулезного процесса в фазе инфильтрации	Номинальный
20	Второе осложнение	Наличие второго осложнения туберкулезного процесса	Номинальный
21	Третье осложнение	Наличие третьего осложнения туберкулезного процесса	Номинальный
22	Третья форма	Наличие дополнительно внелегочной формы туберкулезного процесса	Номинальный
23	Распад	Наличие туберкулезного процесса в фазе распада	Номинальный
24	Обсеменение	Наличие туберкулезного процесса в фазе обсеменения возбудителя по бронхам	Номинальный
25	Уплотнение	Наличие туберкулезного процесса в фазе уплотнения	Номинальный
26	Путь выявления	Путь, по которому у пациента был выявлен туберкулез легких	Номинальный

Далее осуществляется замена каждой группы одним равнодействующим признаком. Основная особенность приведенных методов – это возникновение новых признаков, ассоциированных с определенными подмножествами исходного множества признаков *X*. Сложность, а порой невозможность интерпретации этих признаков – основная трудность использования данных методов в анализе медицинских данных.

Приближенное решение задачи FEATURES SELECTION можно также находить путем последовательного удаления *(elimination)* из X наименее информативных признаков.

В результате такого отбора оставшееся множество признаков является представительным с точки зрения информативности и легко интерпретируется, поскольку каждый отдельный признак имеет отчетливую трактовку. Условием окончания процесса удаления признаков может служить качество классификации, оценка которого выполняется на основе заданных обучающих выборок. Именно такой алгоритм решения задачи FEATURES SELECTION, названный нами алгоритмом ELIMINATION, использован для отбора наиболее информативных признаков при выявлении наличия МЛУ микобактерий к основным противотуберкулезным препаратам. Применение алгоритма ELIMINATION в анализе МЛУ позволяет быстро осуществлять отбор наиболее значимых признаков без потери интерпретации исходных признаков.

Алгоритм ELIMINATION основан на известных в анализе данных математических методах. Исходными данными алгоритма ELIMINATION являются: множество признаков $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ и две обучающие выборки A_1 и A_2, соответствующие двум различным классам пациентов, разделенным по некоторому целевому признаку. В анализе МЛУ целевой признак разделяет пациентов на два класса: пациенты, для которых «нет МЛУ», и пациенты, для которых «имеет место МЛУ».

Алгоритм ELIMINATION сводится к выполнению следующих действий *(рис. 1)*. Вначале в алгоритме ELIMINATION производится расчет информативности каждого признака из X. Далее признаки сортируются в порядке убывания значения меры информативности и записываются в список Z. Затем из отсортированного списка Z последовательно снизу вверх удаляются наименее информативные признаки (на каждом шаге по одному признаку). На основе оставшихся признаков осуществляется бинарная классификация тестового пациента a из выборки $A_1 \cup A_2$, полученной объединением A_1 и A_2. Какой именно

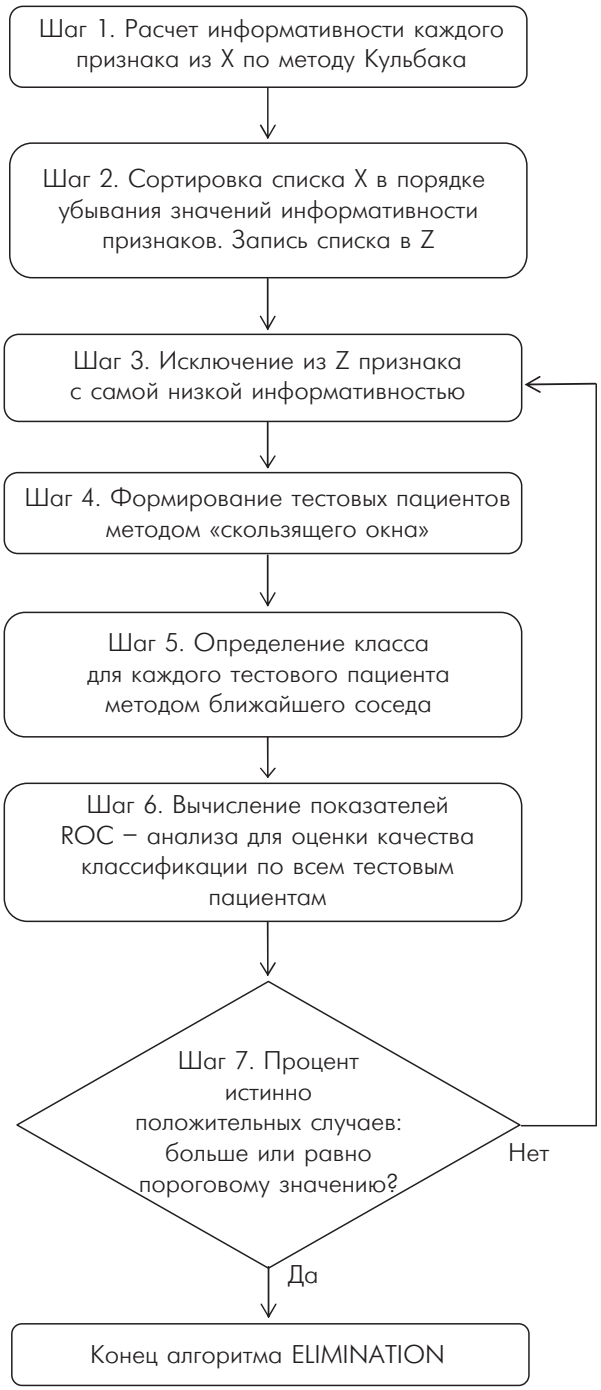


Рис. 1. **Схема работы алгоритма отбора информативных признаков**

пациент a подлежит классификации, устанавливается методом «скользящего окна». После того как протестированы все пациенты из $A_1 \cup A_2$, вычисляются показатели ROC-анализа для оценки качества выполненной классификации. Если показатели ROC-анализа демонстрируют приемлемое качество классификации, то работа алгоритма ELIMINATION завершается. В противном случае из Z исключается следующий признак, при этом ранее удаленные признаки не возвращаются в Z.

Приведем обоснование шагов алгоритма ELIMINATION.

Шаг 1. Для оценки информативности признаков могут применяться различные статистические методы: метод накопленных частот, метод Шеннона и метод Кульбака [9]. Преимущество данных методов перед другими заключается в простоте вычисления и хорошей интерпретации меры информативности признаков. В анализе медицинских данных выборки A_1 и A_2 чаще всего включают в себя разное количество пациентов, а исследуемые признаки могут содержать значения разных типов. Для таких исходных данных наиболее подходящим является метод Кульбака.

Этот метод позволяет оценить степень различия двух заданных выборок A_1 и A_2, соответствующих различным классам пациентов, на основе меры информативности $I(x)$ признака $x \in X$, определяемой следующей формулой [6, 9]:

$$I(x) = \sum_{i=1}^{q} (p_{i1} - p_{i2}) \cdot \log_2 \frac{p_{i1}}{p_{i2}}. \qquad (2)$$

В формуле (2) величина q – количество различных значений (градаций) признака x, а величина p_{ik} – вероятность равенства значений x и i-ой градации. Считается, что чем выше значение меры информативности Кульбака $I(x)$, тем лучше по признаку $x \in X$ различаются обучающие выборки A_1, A_2 и более информативным считается этот признак.

Шаг 2. Сортировка признаков в порядке убывания вычисленных на шаге 1 значений информативности может быть выполнена любым известным методом сортировки, работающим с числовыми значениями. В алгоритме ELIMINATION сортировка выполняется методом «плавающего пузырька».

Шаг 3. После того, как множество признаков X отсортировано в порядке убывания значений информативности отдельных признаков и оформлено в виде списка Z, последовательно (снизу вверх) из Z исключаются признаки с низкой информативностью. Считается, что если признак является малоинформативным, то он слабо влияет на качество классификации, т.е. на правильность распознавания классов принадлежности для тестовых пациентов.

Шаг 4. Выбор тестового пациента a выполняется методом «скользящего окна». Суть этого метода заключается в следующем [7]. Пациент a последовательно выбирается из множества $A_1 \cup A_2$ и исключается из него, при этом предполагается, что неизвестен класс, из которого он выбран. Далее с помощью классификационного алгоритма выполняется определение этого класса.

Шаг 5. Существует большое количество методов классификации, обладающих различной сложностью и эффективностью [10]. При выборе метода классификации обычно учитывается тип данных, для которого применяется данный алгоритм. В анализе медицинских данных приходится иметь дело с разнотипными признаками. Если какие-либо признаки из X не являются числовыми или их значения не могут быть упорядочены, то в этом случае целесообразно применение простейшего метода бинарной классификации – метода ближайшего соседа, реализация которого заключается в следующем [9, 10]. Задается некоторая переменная, которая принимает значение 1, если значение признака $x \in X$, присущее пациенту a, совпадает со

значением этого признака для другого пациента, входящего в выборку A_1 или A_2. Решение о том, к какому классу (первому или второму) отнести пациента *a*, принимается простым голосованием. В случае если число голосов (совпадений), полученных для первого класса, превышает числа голосов для второго класса, то пациент *a* относится к первому классу или наоборот. При одинаковом количестве голосов происходит отказ от классификации, который свидетельствует о невозможности однозначно определить класс принадлежности пациента *a*. Заметим, что распознавание класса принадлежности пациента *a* вначале осуществляется голосованием по каждому отдельному признаку, а затем по всем признакам X в целом.

Шаг 6. После того, как протестированы все пациенты из $A_1 \cup A_2$, выполняется оценка качества выполненной классификации. Оценка качества классификации обычно осуществляется через показатели ROC-анализа, отражающие проценты верного распознавания класса, ошибочного указания класса и отказов от классификации [12]. Исследованию подлежат:

- истинно (верно классифицированные) положительные случаи;
- истинно (верно классифицированные) отрицательные случаи;
- ложноотрицательные случаи, когда положительные случаи классифицируются как отрицательные – так называемый «ложный пропуск» или ошибка I рода;
- ложноположительные случаи, когда отрицательные случаи классифицируются как положительные – так называемое «ложное обнаружение» или ошибка II рода.

Что является положительным случаем, а что отрицательным, зависит от решаемой диагностической задачи. Так, в нашем анализе МЛУ положительный случай – это «нет МЛУ», отрицательный – «имеет место МЛУ».

Процент истинно положительных случаев (*True Positives Rate*) определяется формулой:

$$TPR = 100\% \times TP/(TP + FN), \quad (3)$$

где *TP (True Positives)* – число истинно положительных случаев, *FN (False Negatives)* – число ложноотрицательных случаев.

Шаг 7. Значение *TPR* применяется в алгоритме ELIMINATION в качестве критерия остановки алгоритма: если значение *TPR* больше или равно заданному пороговому значению, то дальнейшее исключение признаков нецелесообразно, и работа алгоритма ELIMINATION завершается, в противном случае удаление признаков продолжается.

Для оценки качества классификации в алгоритме ELIMINATION используются процент отказов от классификации, чувствительность и специфичность. Процент отказов R определяется формулой:

$$R = 100\% \times r / |A_1 \cup A_2|, \quad (4)$$

где r – количество отказов от классификации; $|A_1 \cup A_2|$ – общее число тестовых пациентов, для которых была произведена классификация. Чувствительность совпадает с *TPR* и отражает процент истинно положительных случаев:

$$SE = TPR = 100\% \times TP/(TP + FN). \quad (5)$$

Специфичность показывает процент истинно отрицательных случаев, которые были правильно распознаны:

$$SP = 100\% \times TN/(TN + FP), \quad (6)$$

где *TN* (*True Negative*) – число истинно отрицательных случаев, *FP* (*False Positive*) – число ложноположительных случаев. Чем выше значения чувствительности и специфичности, тем лучше качество классификации. Кроме того показатель чувствительности важен в гипердиагностике, например, в максимальном предотвращении пропуска МЛУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью алгоритма ELIMINATION исследовались две обучающие выборки A_1 и A_2, где A_1 – список пациентов, у которых были выделены микобактерии туберкулеза без МЛУ (всего 335 человек), A_2 – список пациентов, у которых были выделены микобактерии туберкулеза, обладающие МЛУ (всего 445 человек). Выборки A_1 и A_2 были сформированы из всех впервые выявленных больных туберкулезом легких, проходивших стационарное лечение в Красноярском краевом противотуберкулезном диспансере № 1 за период 2008–2012 гг.

Таблица 2

Отсортированный список признаков для МЛУ

Номер признака	*Наименование признака*	*Информативность признака*
1	Населенный пункт	0,7863
2	Район	0,3185
3	Должность	0,2533
4	Место работы	0,2076
5	Первое сопутствующее заболевание	0,0776
6	Первое осложнение	0,062
7	Возраст	0,0588
8	Место жительства	0,0496
9	Сроки ПФЛГО	0,0366
10	Вторая форма	0,0328
11	Объем поражения	0,0327
12	Форма	0,0322
13	Второе сопутствующее заболевание	0,0274
14	ДТЛ	0,0142
15	Пол	0,0127
16	Статус	0,0124
17	Возрастные группы	0,0117
18	Рассасывание	0,0109
19	Инфильтрация	0,0084
20	Второе осложнение	0,0083
21	Третье осложнение	0,006
22	Третья форма	0,0056
23	Распад	0,0046
24	Обсеменения	0,0026
25	Уплотнения	0,0023
26	Путь выявления	0,0004

Таблица 3

Значения основных показателей ROC-анализа для МЛУ

Номера признаков, используемых при классификации	*R*	*SE*	*SP*
	Процент отказов от классификации	*Чувствительность, %*	*Специфичность, %*
1	0,00	0	100
1–2	28,11	0	100
1–3	0,51	21	92
1–4	20,80	21	96
1–5	3,59	29	90
1–6	14,89	38	95
1–7	3,72	25	98
1–8	7,19	12	100
1–9	1,80	11	100
1–10	3,85	2	100
1–11	0,26	2	100
1–12	0,51	0	100
1–13	0,26	0	100
1–14	0,26	0	100
1–15	0,00	0	100
11–6	0,00	0	100
1–17	0,00	0	100
1–18	0,00	0	100
1–19	0,00	0	100
1–20	0,00	0	100
1–21	0,00	0	100
1–22	0,00	0	100
1–23	0,00	0	100
1–24	0,00	0	100
1–25	0,00	0	100
1–26	0,00	0	100

Эти выборки включали в себя признаковые описания пациентов через множество признаков из *таблицы 1*. Для всех признаков из *таблицы 1* была вычислена мера информативности по методу Кульбака относительно обучающих выборок A_1 и A_2. Затем признаки были отсортированы в порядке убывания значения меры информативности. Отсортированный список признаков с указанием их информативности по Кульбаку представлен в *таблице 2*.

Были выполнены вычисления показателей ROC-анализа по формулам (3)–(6). Результаты этих вычислений представлены в *таблице 3*.

Из *таблиц 2 и 3* следует, что наиболее информативными (способствующими верной классификации на «нет МЛУ» и «имеет место МЛУ») являются признаки с номерами от 1 до 6. Признаки с номерами 7–26 имеют малую информативность. Максимум значений чувствительности и специфичности достигается при использовании первых шести признаков. При этом чувствительность равна 38%, а специфичность равна 95%. Это означает, что при анализе первых шести признаков для 38% пациентов верно выявляется отсутствие МЛУ, а для 95% пациентов верно устанавливается наличие МЛУ. Если анализ МЛУ осуществлять с учетом большего числа признаков, то значение чувствительности становится равным нулю при стопроцентной специфичности, т.е. верно классифицируются только отрицательные случаи. Такие же показатели качества классификации получаются при отборе слишком малого числа признаков. Необходимо отметить, что результаты работы алгоритма ELIMINATION носят рекомендательный характер.

Все приведенные выше результаты вычислений были получены с помощью разработанной программы, реализующей алгоритм ELIMINATION на языке программирования C++ в среде Embarcadero RAD Studio XE8. Программа имеет удобный пользовательский интерфейс, который ориентирован на медицинских работников, не имеющих профессиональной подготовки в области IT-технологий. Вид интерфейса представлен на *рис. 2*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для эффективного решения проблемы анализа МЛУ в статье предложены алгоритм ELIMINATION и программа, позволяющие выполнять отбор наиболее информативных признаков. Их применение к базе данных больных туберкулезом легких, проходивших

Рис. 2. **Интерфейс программы отбора признаков в анализе МЛУ**

стационарное лечение в Красноярском краевом противотуберкулезном диспансере № 1 за 2008–2012 годы, показало, что при выявлении наличия МЛУ микобактерий к основным противотуберкулезным препаратам можно ограничиваться лишь шестью признаками из 26 традиционно рассматриваемых. Эти признаки позволяют с высокой вероятностью выделить пациентов, не обладающих МЛУ, что создает благоприятные условия для их адекватного лечения.

Алгоритм ELIMINATION является эффективным по времени выполнения, что создает возможность его применения для оперативного прогноза наличия МЛУ для вновь поступающих пациентов, а также корректировки отобранных ранее признаков в случае пополнения базы данных пациентов.

Предложенные алгоритмические и программные средства могут быть использованы для сокращения признакового пространства не только в анализе МЛУ, но и при решении подобных диагностических задач. Сокращение совокупности анализируемых признаков возможно без потери качества принимаемых решений с достаточно высокой вероятностью правильного прогноза. Если в качестве признаков выступают диагностические обследования, то сокращение признакового пространства может сократить затраты на диагностику.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусев А.В., Зарубина Т.В.* Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации. Врач и информационные технологии. – 2017. – (2): 60–72.

2. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации 21.03.2003 г. № 109 «О совершенствовании противотуберкулезных мероприятий в Российской Федерации». URL: http://docs.cntd.ru/document/901868614. (Дата обращения: 01.12. 2017).

3. *Кононец А.С., Хорошилова Н.Е., Голубева Л.И.* Туберкулез легких с множественной лекарственной устойчивостью возбудителя к основным и резервным препаратам. Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2010. – (1): 24–9.

4. *Самойлова А.Г., Васильева И.А., Иванов А.К., Галкин В.Б., Марьяндышев А.О., Яблонский П.К.* Эффективность стандартных режимов химиотерапии туберкулеза в зависимости от лекарственной чувствительности возбудителя. Туберкулез и болезни легких. – 2012. – (8): 23–9.

5. *Кривенко М.П.* Критерии значимости отбора признаков классификации. Информатика и её применение. – 2016. – 10(3): 32–40.

6. *Колесникова С.И.* Методы анализа информативности разнотипных признаков. Вестник Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – 1(6): 69–80.

7. Воронов К.В. Машинное обучение: курс лекций. 2010. URL: http://www.machinelearning.ru. (Дата обращения: 01.12. 2017).

8. *Ким Д.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р.* Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика; 1989.

9. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН; 1999.

10. *Журавлев Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В.* Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: Фазис; 2006.

11. *Yu L., Liu H.* Efficient feature selection via analysis of relevance and redundancy. J. Machine learning research. – 2004. – 5: 1205–24.

12. *Fawcett T.* ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Researcher. Kluwer Acad. Publ; 2004.

И.А. КРАСИЛЬНИКОВ,
д.м.н., генеральный директор, ООО «Стратег», г. Санкт-Петербург, Россия, igor.kras@hotmail.com
Н.М. МИРОНОВА,
заведующая приемным отделением, Городская больница Святого Великомученика Георгия, г. Санкт-Петербург, Россия, n.m.mironova@mail.ru
И.А. СОКОЛОВА,
директор по развитию, Городская больница Святого Великомученика Георгия, г. Санкт-Петербург, Россия, sokolova.ia@mail.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЕМНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ГОРОДСКОЙ БОЛЬНИЦЫ: ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 616-082.6:303.094.7

Красильников И.А., Миронова Н.М., Соколова И.А. ***Имитационное моделирование приемного отделения городской больницы: построение цифровой модели и оптимизация деятельности*** *(ООО «Стратег», г. Санкт-Петербург, Россия)*

Аннотация. Показана возможность оптимизации деятельности приемного отделения городской больницы на основе результатов имитационного моделирования. Использование программного обеспечения FlexSim Healthcare позволяет получить малодоступные для других методов анализа характеристики оказания медицинской помощи. Цифровая модель деятельности медицинской организации дает возможность локализовать «узкие места», приводящие к формированию очередей. Рассмотрены проблемы получения данных, необходимых для построения моделей. Виртуальные эксперименты помогают поиску вариантов оптимизации деятельности, заменяя при этом длительные и дорогостоящие управленческие эксперименты с использованием реальных ресурсов. Получению более точных результатов имитационного моделирования будет способствовать детальное описание процессов оказания медицинской помощи с хронометражем его отдельных этапов. Имитационное моделирование оказания медицинской помощи может быть одним из этапов внедрения «бережливого производства» в практику здравоохранения

Ключевые слова: *имитационное моделирование, приемное отделение, FlexSim Healthcare, цифровая модель, виртуальные эксперименты, оптимизация деятельности.*

UDC 616-082.6:303.094.7

Krasilnikov I.A., Mironova N.M., Sokolova I.A. ***Simulation of the admission department of the city hospital: building a digital model and optimizing the activity*** *("Strateg" LLC, St. Petersburg, Russia)*

Abstract. The possibility of optimizing the activity of the admission department of the city hospital is shown on the basis of the results of simulation modeling. The use of FlexSim Healthcare software allows obtaining characteristics of medical care that are inaccessible to other methods of analysis. The digital model of activity of the medical organization allows to localize «bottlenecks», leading to the formation of queues. The problems of obtaining the data necessary for constructing models are considered. Virtual experiments help to find options for optimizing activities, while replacing long-running and costly management experiments using real resources. The detailed description of the processes of medical care with the timing of its individual stages will help to obtain more accurate results of simulation. Simulation of medical care can be one of the stages of the introduction of «lean manufacturing» in health practice.

Keywords: *simulation, admission department, FlexSim Healthcare, digital model, virtual experiment, optimization of activities.*

© И.А. Красильников, Н.М. Миронова, И.А. Соколова, 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное управление многопрофильной больницей в значительной мере зависит от деятельности приемного отделения [1]. При этом одной из задач, требующих решения, является нахождение баланса между избытком и недостатком ресурсов. При избытке ресурсов очереди на обслуживание не появляются, но это экономически не эффективная ситуация. При недостатке ресурсов увеличивается время оказание помощи, что приводит к негативным последствиям. Иными словами, для наиболее эффективного использования имеющихся ресурсов их загрузка должна быть максимальной, а для обеспечения минимального времени ожидания она должна быть как можно меньше [2].

В управлении структурами здравоохранении существенную помощь может оказать дискретно-событийное имитационное моделирование [3]. Построение достаточно точной цифровой модели ЛПУ или его отдельного подразделения позволяет заменить длительные и дорогостоящие управленческие эксперименты с использованием реальных ресурсов на быстрые и дешевые виртуальные эксперименты [4]. Это предоставляет возможность более оперативного внедрения принципов «Бережливого производства» (Lean production) в практику здравоохранения [5, 6].

Целью настоящей работы является оценка возможностей оптимизации деятельности приемного отделения городской многопрофильной больницы на основе результатов имитационного моделирования с использованием специализированного программного обеспечения FlexSim Healthcare.

МЕТОДЫ

Городская больница Святого Великомученика Георгия является многопрофильным лечебным учреждением, в котором развернуто более 500 коек и оказывается стационарная помощь как плановым пациентам, так и поступающим по экстренным показаниям. Для построения имитационной модели использованы деперсонифицированные индивидуальные данные из информационной системы «Ариадна» – 62089 пациентов, зарегистрированных в приемном отделении (далее – ПО) за период с марта 2016 г. по сентябрь 2017 г. Полный цикл диагностики и сортировки прошли 55093 больных, из которых затем 69,4% поступило на стационарное лечение в больницу, 30,3% направлено под медицинское наблюдение по месту жительства и 0,3% переведено в другие стационары. В структуре пациентов 31,4% были терапевтического профиля (в т.ч. 5,0% больных с артериальной гипертензией и 0,7% больных анемией), 31,2% – хирургического профиля (17,2% абдоминальная и 14,0% – гнойно-септическая хирургия), 15,3% гинекологического профиля, 10,8% – пациенты с травмами, 6,4% – неврологического и 5,0% – урологического профилей.

Имитационное моделирование осуществлялось с использованием лицензионного программного обеспечения FlexSim Healthcare v.5.3.4, предназначенного для дискретно-событийного моделирования медицинских организаций и/или их структурных подразделений.

Модель оказания медицинской помощи в ПО построена на основе описания последовательных событий, которые происходят с пациентом от момента его поступления в приемное отделение до выхода из него. Для каждого события указываются условия его начала (например, после завершения одного или нескольких предшествующих событий или появление доступности какого-либо ресурса, или доля лиц с показаниями для диагностического исследования и т. п.), продолжительность и место, а также, при необходимости, участвующий персонал (с учетом графика работы) и оборудование.

Одной из существенных характеристик системы FlexSim является возможность использования для отображения пациентов и ресурсов

анимированных 3D-объектов, перемещающихся с заданной скоростью в пространстве модели. При этом на различных этапах функционирования модели их свойства (например, цвет, конфигурация) могут изменяться. Это не только повышает наглядность действующей цифровой модели, но и существенно облегчает ее тестирование в процессе создания.

Параметры модели носят стохастический характер, поэтому результаты моделирования варьируют от запуска к запуску, что дает возможность оценивать статистическую достоверность результатов моделирования.

Результаты моделирования ПО были экспортированы во внешние csv-файлы, содержащие миллионы строк со сведениями о пациентах, прошедших через модель, и связанных с ним событий с указанием времени (минут) для каждого из событий. Последующий анализ данных осуществлялся в системе управления базами данных MySQL и MS Excel 2016 (PivotTable).

В модель приемного отделения больницы был включен ее план (единица измерения – метры) с указанием медицинских кабинетов и маршрутов перемещения пациентов и персонала *(рис. 1)*.

Поток пациентов разбит на 9 профилей, каждому из которых соответствовал определенный алгоритм диагностических действий: гинекологический, неврологический, терапевтический, анемия, артериальная гипертония, травматологический, урологический, хирургический абдоминальный, хирургический гнойно-септический.

Далее каждый профиль делился на отдельные маршруты для ходячих и лежачих пациентов. Для травматологического профиля это деление осуществлялось на основе локализации травм (с травмами нижних конечностей – лежачие, остальные – ходячие пациенты), для остальных профилей – на основе экспертной оценки врачей отделения. Также путем экспертной оценки определялась нуждаемость в отдельных видах диагностических действий (например, рентгенография, флюорография) и их продолжительность. Для оценки длительности использовалось триангулярное распределение: минимальная, максимальная и наиболее частая продолжительность (единица измерения – минута).

Кроме вышеуказанных профилей в модель были включены пациенты, которые в ПО только регистрировались. Это плановые пациенты, а также требующие немедленного направления в реанимационное отделение. Также в модели предусмотрено, что 0,5% всех пациентов нуждается в санитарной обработке.

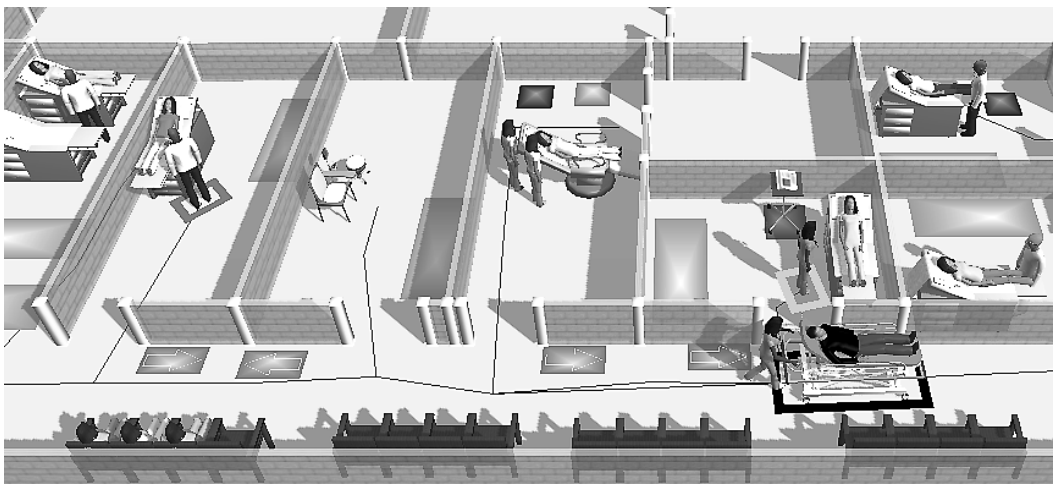


Рис. 1. **Фрагмент 3-D модели приемного отделения**

Число пациентов, проходящих по каждому маршруту, моделировалось на основе пуассоновского распределения среднечасового поступления больных для каждого дня недели за весь период наблюдения. Сезонные колебания уровня госпитализации в модели не учитывались.

Поступление пациентов неравномерно по дням недели и определяется графиком дежурства больницы по скорой помощи: терапия, неврология и гинекология – ежедневно, травматология – 6 дней в неделю, абдоминальная и гнойно-септическая хирургия – 4 дня, урология – 2 дня. День дежурства начинается утром в 9 часов.

В модель включен следующий персонал, работающий круглосуточно:

- медсестры – 3;
- медсестра травматологического кабинета – 1;
- рентгенлаборанты – 2;
- КТ-специалист – 1;
- УЗИ-специалист, невролог, гинеколог, уролог, травматолог – по 1 врачу;
- терапевты, абдоминальные хирурги, гнойно-септические хирурги – по 2 врача.

Кроме того включен персонал ПО, работающий по графику:

- круглосуточно: регистратор – 1, санитары – 2;
- с 9.00 понедельника до 9.00 вторника: регистратор – 1; санитар – 1;
- с 9.00 до 17.00 ежедневно: регистратор – 1.

Число действующих в модели хирургов, урологов и травматологов превышает их реальное количество в дни, когда больница не дежурит по соответствующему профилю. Это вызвано тем, что в недежурные дни в больницу тем не менее поступают непрофильные пациенты, для обследования которых привлекаются соответствующие специалисты.

Деятельность приемного отделения моделировалась циклами по 14 дней, при этом первые 7 дней работы (так называемый «период разогрева») в результатах не учитывались. Затем цикл моделирования полностью повторяется, и такие повторы (реплики) осуществляются 25 раз. Длительность периода наблюдения и количество используемых реплик лимитировались характеристиками используемой вычислительной техники (процессор Intel Core i7, CPU2,70 GHz, ОЗУ 16,0 ГБ, Windows 10 Pro, процессор x64).

В соответствии с рекомендациями [7] результаты моделирования усредняются по каждой из 25 реплик и в последующую статистическую обработку эти усредненные результаты включаются в виде 25 переменных, для которых рассчитываются статистические показатели (например, среднее значение и дисперсия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Потоки пациентов в модели, сформированные на основе пуассоновского распределения среднечасового поступления больных, лишь незначительно отличаются от данных учета в информационной системе. Суммарно по всем профилям за 579 дней (соответствует периоду с 1 марта 2016 г. по 30 сентября 2017 г.) число пациентов, прошедших через модель, превысило реальное число поступивших пациентов лишь на 0,38%. Не наблюдается существенных различий и по часам в различные дни недели *(рис. 2)*.

Показатели, характеризующие деятельность ПО, рассчитывались для всех профилей суммарно (исключая плановых и реанимационных пациентов), а также по каждому из маршрутов, по которым в модели среднее еженедельное число пациентов превышало 25 человек.

Цифровая модель позволяет рассчитать большое число показателей, например:

- общее время нахождения пациента в ПО (в минутах), которое включает в себя:
  - время работы с пациентом;
  - время ожидания пациентом персонала;
  - время ожидания пациентом кабинета;

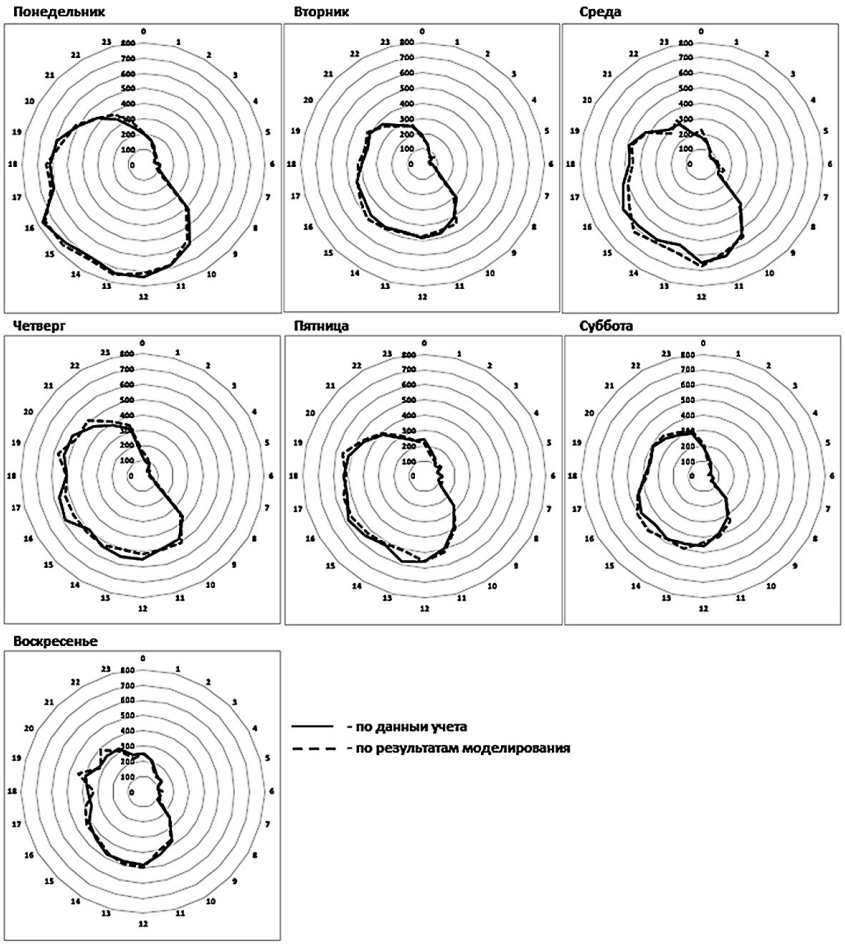


Рис. 2. **Почасовое поступление пациентов в приемное отделение (суммарно за март 2016 г. – сентябрь 2017 г.)**

- время движения пациента (самостоятельно или на каталке).

• время от поступления пациента до окончания его регистрации;

• время от поступления пациента до первого врачебного осмотра;

• время от окончания регистрации до первого врачебного осмотра;

• время от начала первого врачебного осмотра до убытия пациента из приемного отделения;

• дистанция перемещения пациентов и персонала (в метрах);

• уровень загрузки персонала в %;

• уровень загрузки кабинетов %.

В рамках настоящей публикации рассмотрены лишь некоторые из них, представляющие, на наш взгляд, наибольший интерес.

Общее время нахождения (далее – ОВН) пациентов в ПО существенно различается для разных маршрутов *(рис. 3)*. При этом в большую сторону заметно, статистически достоверно ($p < 0,05$) выделяется группа маршрутов, включающая травматологию для ходячих и лежачих пациентов, гнойно-септическую хирургию для лежачих и гипертонию для ходячих больных (более 4-х часов). Наибольшее время от поступления пациента до

первого врачебного осмотра (далее – ВПВО) отмечается у лежачих пациентов, относящихся к хирургическому гнойно-септическому профилю – более часа.

Сопоставить длительность нахождения пациентов в ПО на основе результатов моделирования и в системе реального учета не удалось из-за отсутствия точной регистрации в информационной системе времени выбытия пациентов из ПО.

В структуре времени, которое проводят пациенты в ПО, на обследования и осмотры с участием медицинского персонала в среднем приходится менее двух третей: меньше всего – у ходячих терапевтических (52,6%) и хирургических гнойно-септических (56,0%) пациентов, больше всего – у лежачих хирургических абдоминальных (71,4%) и гнойно-септических (71,3%). Почти 5% времени занимает перемещение пациентов внутри ПО у лежачих травматологических, неврологических и хирургических абдоминальных пациентов. В среднем более трети времени пациенты проводят в ожидании, пока освободится

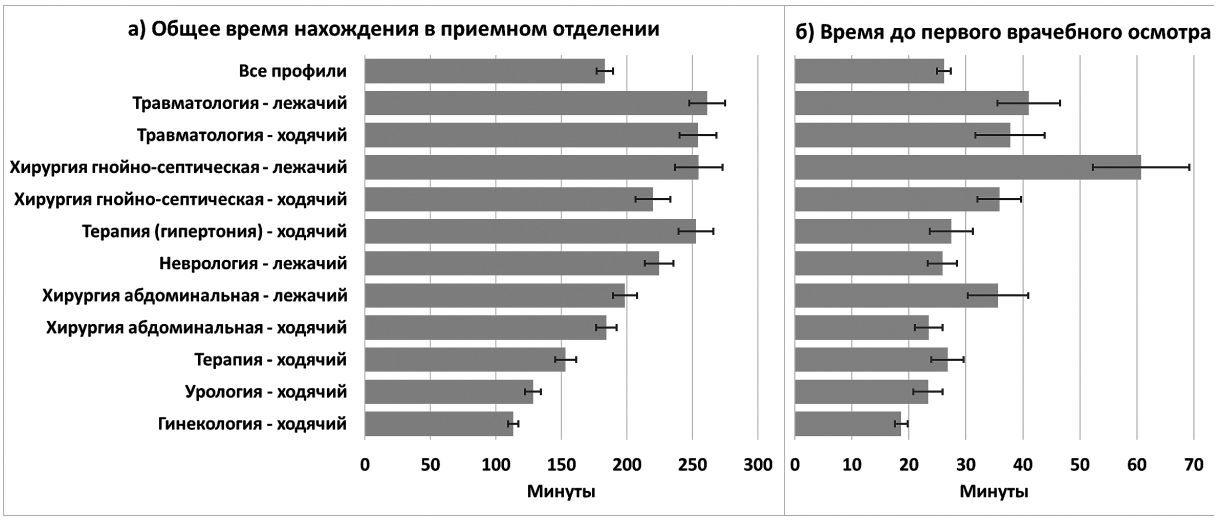


Рис. 3. **Длительность нахождения в ПО пациентов различных профилей (указаны границы для доверительной вероятности 95%)**

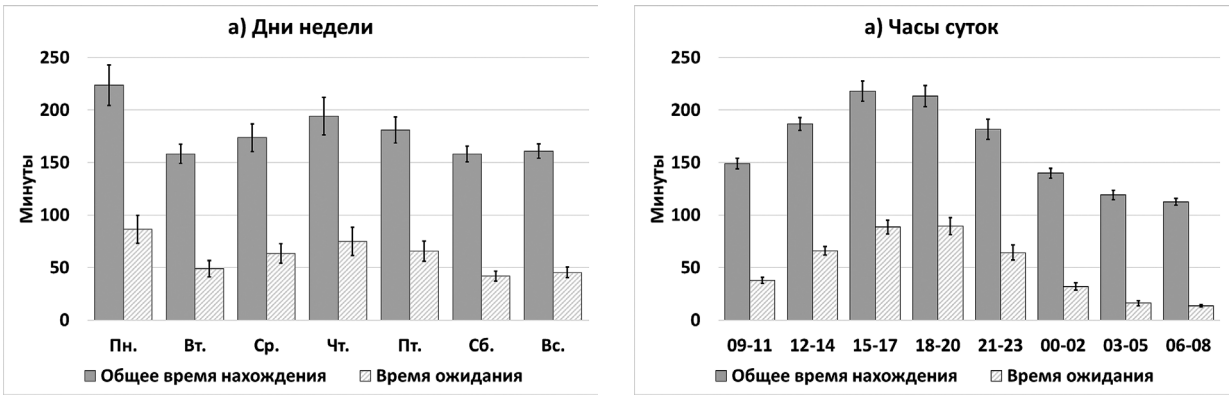
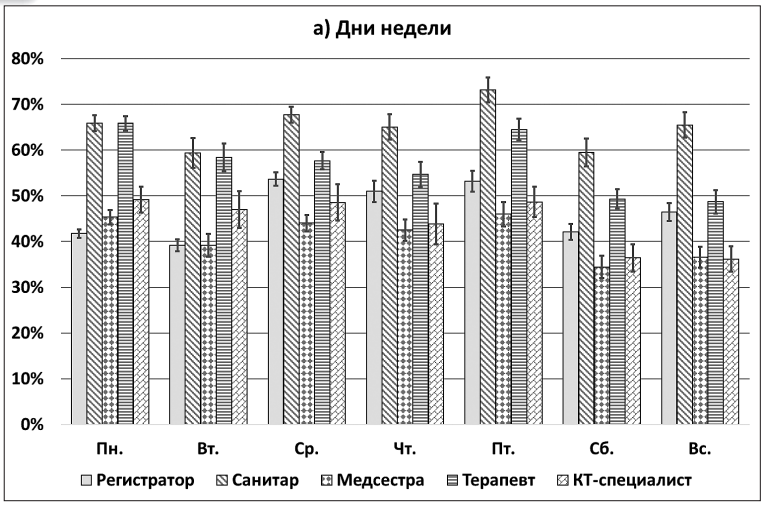


Рис. 4. **Длительность нахождения в ПО пациентов по дням недели и времени суток**



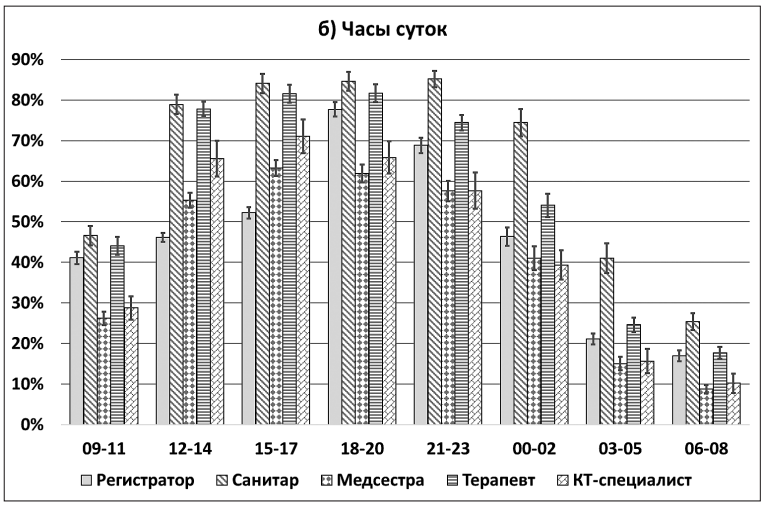


Рис. 5. **Загруженность персонала по дням недели и времени суток**

персонал или место для обследования. Наиболее высока доля времени ожидания у ходячих терапевтических (44,7%) и хирургических гнойно-септических (41,6%) пациентов.

ОВН больше всего по понедельникам (в среднем – более 3-х часов), а внутри суток – в период с 15 до 20 часов *(рис. 4)*. В эти же временные интервалы отмечается и наиболее длительное время ожидания.

Для каждой категории персонала ПО была определена его средняя занятость (в мин.) с границами для 95% доверительной вероятности по каждому дню недели и 3-х часовым интервалам времени суммарно по всем дням *(рис. 5)*. Далее рассчитана занятость в процентах от общего бюджета рабочего времени. Для одного специалиста, работающего круглосуточно, недельный бюджет времени составляет 10080 мин, дневной – 1440 мин., 3-х часовой – 180 мин. При круглосуточной работе 2-х специалистов (например, терапевтов) бюджет времени увеличивается в 2 раза, а в случае работы по графику (например, санитаров и регистраторов) в расчет бюджета времени вносятся коррективы в соответствии с днями и часами работы. Длительность перерывов (например, для приема пищи) в модели не учитывалась.

Наибольшая загруженность отмечается у санитаров – в среднем 65%, по пятницам – более 70% и с 15 до 23 часов – более 80%. Также высока загруженность у терапевтов – в среднем 57%, по понедельникам и пятницам около 65% и с 15 до 20 часов – более 80%.

Более детальный анализ загруженности по часам суток внутри каждого дня недели позволил выявить периоды времени, когда нехватка персонала была выражена в наибольшей степени *(таблица 1)*.

За исключением второй половины ночи и утра (с 3 до 11 часов) каждый день и с нуля до 2-х часов по понедельникам и средам занятость хотя бы одной из 5 анализируемых категорий персонала более 70% времени наблюдалась в течение каждого из 33 анализируемых периодов времени (5 дней в неделю с 0 до 2-х часов и 7 дней в неделю в 12–14, 15–17, 18–20 и 21–23 часа). При

Таблица 1

Загруженность персонала более 70%

	Часы суток					
	00–02	*03–11*	*12–14*	*15–17*	*18–20*	*21–23*
Пн			С, КТ, ТЕР	С, Мс, КТ, ТЕР	С, Мс, КТ, ТЕР	С, Мс, ТЕР
Вт	С,ТЕР		С, ТЕР	С, КТ, ТЕР	Р, С, ТЕР	Р, С
Ср			С, Мс, КТ, ТЕР	С, Мс, КТ, ТЕР	Р, С, КТ, ТЕР	Р, С, ТЕР
Чт	С		С, ТЕР	С, Мс, ТЕР	Р, С, Мс, ТЕР	Р, С, Мс, ТЕР
Пт	С		С, ТЕР	С, КТ, ТЕР	Р, С, КТ, ТЕР	Р, С, КТ, ТЕР
Сб	С		С	С, ТЕР	Р, С, ТЕР	Р, С
Вс	С		С	С	Р, С	Р, С

Примечание: подчеркиванием выделена загрузка персонала более 85%;
Р – регистратор, С – санитар, Мс – медсестра, КТ – КТ-специалист, ТЕР – терапевт.

этом отмечается постоянная высокая загрузка санитаров, в том числе 15 периодов времени – более 85%. Также высоко загружены терапевты – 21 период времени более 70%, в том числе 10 периодов – более 85%. В качестве наиболее загруженного выделяется время по будним дням с 18 до 20 часов, когда выше 85% загружены регистраторы, санитары и терапевты.

Аналогичным образом определена загруженность кабинетов. Наибольший уровень использования отмечается у терапевтической смотровой: по будним дням с 12 до 23 часов более 70–80%, а по понедельникам – более 90%. Несколько ниже, но также высок уровень загрузки кабинета ЭКГ, особенно по понедельникам – более 80%.

После предварительных исследований и с учетом загрузки персонала и кабинетов было принято решение о проведении двух серий виртуальных экспериментов *(таблица 2)*. Сценарий № 1 соответствует модели реальной работы ПО. В первой серии экспериментов (сценарии №№ 2–8) менялась численность регистраторов и/или санитаров и/или медицинских сестер и/или терапевтов. Во второй серии было снято существующее ограничение пропускной способности кабинета ЭКГ, когда исследование может одновременно проводиться только одному пациенту – или ходячему, или

Таблица 2

Численность персонала и кушеток в сценариях виртуальных экспериментов

	Сценарии											
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
Персонал												
Регистратор	3	4(+1)	4(+1)	5(+2)	3	4(+1)	4(+1)	5(+2)	3	3	4(+1)	4(+1)
Санитар	3	4(+1)	5(+2)	5(+2)	3	4(+1)	5(+2)	5(+2)	3	3	4(+1)	4(+1)
Мед.сестра	3	3	4(+1)	4(+1)	3	3	4(+1)	4(+1)	3	3	3	4(+1)
Терапевт	2	2	2	2	3(+1)	3(+1)	3(+1)	3(+1)	2	2	3(+1)	3(+1)
Кушетки в кабинетах для ходячих больных												
Кабинет ЭКГ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2(+1)	2(+1)	2(+1)
Терапия	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3(+1)	3(+1)

Примечание: в скобках – добавлено к исходному сценарию № 1

лежачему. В сценарии № 9 ЭКГ может сниматься одновременно одному ходячему и одному лежачему, а в сценариях №№ 10–12 – одному лежачему и двум ходячим пациентам. Кроме того в сценариях №№ 11,12 наряду с увеличением числа терапевтов в смотровой была добавлена одна кушетка для ходячих пациентов. Во всех экспериментах добавляемый персонал работает ежедневно 24 часа.

В качестве основных индикаторов использовались окончание времени регистрации пациентов (ВР), время начала первого врачебного осмотра (ВПВО) и общее время нахождения (ОВН) пациента в ПО. Для каждого показателя и маршрута вычислялось отношение разности между показателями модели реальной работы ПО и сценариев виртуальных экспериментов к показателям модели реальной работы, то есть определялось, на сколько процентов в конкретном сценарии уменьшился тот или иной показатель *(таблица 3)*. С учетом особенностей генерации случайных величин при имитационном моделировании для статистической обработки рассчитывался критерий Стьюдента для парных измерений, в качестве которых использовались средние значения ВР, ОВН или ВПВО по одним и тем же репликам для каждого сценария [7]. В анализ включены только те случаи, когда различия между результатами экспериментов и моделью реальной работы были статистически достоверны ($p < 0,01$). Из анализа исключены сценарии №№ 5, 9, 10, т.к. показатели в этих сценариях незначительно (менее 10%) отличались от показателей реальной работы, за исключением ВПВО для ходячих пациентов терапевтического профиля (уменьшение на 33%).

Добавление персонала, а также кушеток для ходячих пациентов для снятия ЭКГ и осмотра терапевта уменьшает все характеристики времени прохождения пациентов через ПО. Поскольку во все сценарии были добавлены регистраторы, вполне ожидаемо уменьшение ВР для всех профилей и маршрутов. Однако по сравнению с другими сценариями не наблюдается заметных отличий для сценариев №№ 4,6, в которые было добавлено 2 регистратора.

Как ВПВО, так и ОВН заметно уменьшались у ходячих и лишь незначительно, в отдельных сценариях, у лежачих пациентов. А при гнойно-септической патологии ВПВО в сценарии № 3 даже увеличилось на 19,7%. У пациентов с травмами ВПВО в сценариях существенно не менялось, а заметное уменьшение ОВН отмечалось только у ходячих пациентов в сценарии № 12.

Несколько меньшее по сравнению с другими сценариями влияние на ВПВО и ОВН зафиксировано в сценариях № 3, 4, хотя это не является закономерностью.

Сценарий № 11 отличается от сценария № 6 добавлением кушеток, что привело к более существенному уменьшению ВПВО и ОВН у ходячих терапевтических пациентов.

В сценарии № 8 число регистраторов и санитаров увеличено на 2, а медсестер – на 1 человека, а в сценарии № 6 регистраторов и санитаров – на 1 человека, при этом число медсестер не менялось. Однако при сравнении ВПВО и ОВН заметных различий между этими сценариями не наблюдается.

ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие информационных технологий приводит к появлению программных средств, использование которых становится доступным пользователям с разным уровнем математической и технической подготовки. В полной мере это относится к имитационному моделированию. В течение многих десятилетий практически единственной возможностью создания моделей, например, деятельности медицинских организаций, было использование специализированных языков программирования, в первую очередь GPSS [8], что позволяло привлекать к работе пользователей НИИ и ВУЗов для решения прежде всего научных

Таблица 3

Процент уменьшения показателей модели реальной работы ПО в сравнении с результатами виртуальных экспериментов

Профили и маршруты	*Сценарий сравнения*							
	2	*3*	*4*	*6*	*7*	*8*	*11*	*12*
Время регистрации								
Все профили	35,7%	35,2%	36,9%	34,6%	34,6%	36,6%	35,0%	34,7%
Гинекология – ходячий	43,5%	42,8%	46,0%	43,6%	43,9%	45,9%	43,9%	43,4%
Терапия – ходячий	38,8%	39,1%	40,8%	39,7%	38,8%	41,2%	39,4%	39,6%
Терапия (гипертония) – ходячий	41,2%	40,5%	43,1%	39,7%	40,9%	43,2%	40,9%	40,0%
Травматология – лежачий	21,9%	19,9%	19,8%	17,7%	17,2%	19,1%	18,7%	17,5%
Травматология – ходячий	40,3%	41,1%	42,5%	39,8%	41,3%	42,6%	39,8%	39,5%
Урология – ходячий	34,5%	35,2%	38,1%	35,0%	35,0%	36,4%	34,8%	35,0%
Хирургия абдоминальная – лежачий	22,7%	20,5%	21,1%	18,8%	18,8%	19,8%	19,6%	19,0%
Хирургия абдоминальная – ходячий	42,1%	42,4%	44,4%	42,0%	41,8%	44,5%	42,1%	41,7%
Хирургия гнойно-септ. – лежачий	27,1%	24,5%	27,1%	23,5%	23,2%	23,9%	23,9%	23,8%
Хирургия гнойно-септ. – ходячий	46,9%	47,3%	48,7%	46,6%	47,1%	49,3%	46,5%	46,2%
Время первого врачебного осмотра								
Все профили	9,3%	7,0%	7,2%	16,3%	17,6%	18,7%	18,2%	20,5%
Гинекология – ходячий	23,7%	24,3%	27,0%	23,5%	22,8%	25,5%	20,0%	23,6%
Терапия – ходячий				48,3%	48,9%	48,7%	59,0%	60,5%
Терапия (гипертония) – ходячий	8,6%			49,6%	49,8%	49,0%	59,9%	60,8%
Травматология – лежачий								
Травматология – ходячий								
Урология – ходячий	13,5%	11,0%	10,4%		14,7%	13,0%		12,1%
Хирургия абдоминальная – лежачий								
Хирургия абдоминальная – ходячий	18,8%	16,1%	17,5%	15,1%	13,6%	16,1%	15,2%	14,3%
Хирургия гнойно-септ. – лежачий		-19,7%						
Хирургия гнойно-септ. – ходячий	11,3%					9,5%		13,9%
Общее время нахождения								
Все профили	3,8%	3,7%	3,1%	8,0%	8,9%	9,5%	14,1%	15,6%
Гинекология – ходячий	7,3%	7,6%	7,4%	16,0%	16,1%	17,0%	20,2%	21,1%
Терапия – ходячий	3,9%			17,4%	17,1%	18,2%	28,6%	29,0%
Терапия (гипертония) – ходячий	3,6%			8,4%	9,7%	9,8%	14,8%	17,2%
Травматология – лежачий								
Травматология – ходячий								10,9%
Урология – ходячий	7,2%	7,3%	5,8%	4,9%	6,9%	6,4%	4,2%	5,8%
Хирургия абдоминальная – лежачий		3,6%						
Хирургия абдоминальная – ходячий	4,6%	4,3%		5,6%	6,3%	6,5%	9,1%	9,7%
Хирургия гнойно-септ. – лежачий								7,8%
Хирургия гнойно-септ. – ходячий	3,5%			8,9%	9,3%	9,9%	18,8%	22,0%

и учебных задач. В последние 15–20 лет стало появляться все больше программных продуктов, предназначенных для пользователей-практиков, которые используют имитационное моделирование для решения возникающих перед ними повседневных задач [4]. Около 10 лет назад некоторые производители стали создавать программное обеспечение, которое специально предназначено для имитационного моделирования деятельности медицинских организаций.

К сожалению, имитационное моделирование в здравоохранении России пока не получило широкого распространения. За многие годы применительно к гражданскому сектору опубликовано лишь несколько работ на эту тему [9, 10], в отличие, например, от США, где только на Winter Simulation Conference число таких публикаций ежегодно исчисляется десятками [11]. На наш взгляд, одной из основных причин медленного распространения этого эффективного метода является, с одной стороны, сложность использования организаторами здравоохранения бесплатных или относительно дешевых вариантов программного обеспечения из-за высоких требований, предъявляемых к математическому и техническому уровню пользователей, и, с другой стороны, фактическая недоступность относительно простых в использовании вариантов коммерческих программных продуктов из-за их дороговизны (стоимость коммерческих лицензий начинается от 700–800 тыс. руб.).

В настоящей работе изучены возможности имитационного моделирования с использованием специализированного программного обеспечения FlexSim Healthcare для последующей оптимизации деятельности приемного отделения многопрофильной больницы.

Прежде всего рассмотрения требует проблема получения данных, необходимых для имитационного моделирования. Процесс оказания медицинской помощи пациентоцентричен и его описание требует четкого представления о том, какой персонал, в какой последовательности, где и с использованием какого оборудования взаимодействует с определенными категориями пациентов. Чтобы подготовить описание процессов специалисту по моделированию требуется, как правило, провести нескольких итераций интервьюирования соответствующих медицинских работников, обладая при этом достаточно полным исходным представлением о лечебном процессе, чтобы вести обсуждение на общем профессиональном языке. Далее используется графическое представление описанных процессов, удобное для последующего моделирования.

Частота и длительность тех или иных диагностических и лечебных процедур у пациентов с разными видами патологии и степенью тяжести должны получить количественное описание с учетом стохастичности и нелинейности, присущей социальным и биологическим процессам. Получение части необходимых данных может быть доступно из медицинской информационной системы (далее – МИС), но, к сожалению, рутинная регистрация многих требуемых для моделирования данных в большинстве МИС отсутствует. Так, точное время начала и окончания фиксируются только для оперативных вмешательств. Получение данных, например, о длительности нахождения пациента в процедурной или в каком-либо диагностическом кабинете требует дополнительного хронометража. В настоящей работе эти сведения получены путем опроса специалистов ПО.

Самыми полезными для имитационного моделирования сведениями, аккумулируемыми в МИС, являются данные о профиле и времени поступления пациентов. Включение в модель соответствующих параметров, на которые накладываются формализованные описания процессов оказания медицинской помощи, позволяет получить характеристики, практически не используемых до настоящего времени для целей управления в связи со сложностью их фиксации.

К их числу может быть отнесено, например, ВПВО – время от момента поступления пациента в приемное отделение до первого контакта с врачом. Конечно, время контакта может быть зарегистрировано и в МИС, но это потребует от медицинского персонала, загруженного своими непосредственными обязанностями, дополнительного корректного ввода данных.

Модель позволяет оценить характеристики, еще менее доступные для рутинной фиксации, но важные для целей управления. Как показано в настоящей работе, более трети времени нахождения в ПО пациенты, особенно ходячие терапевтические и хирургические гнойно-септические, проводят в ожидании персонала или кабинета. Колебания продолжительности ожидания по дням недели и часам суток отражается на колебаниях длительности ОВН.

На практике почти не регистрируется, за исключением редких научных исследований, загруженность персонала, расчет которой с высокой степенью детализации доступен по данным имитационного моделирования. В настоящей работе установлена периодическая чрезвычайно высокая загруженность регистраторов, санитаров и терапевтов, превышающая 85%, что в условиях неравномерного случайного поступления пациентов в соответствии с теорией массового обслуживания с неизбежностью ведет к формированию очередей [7].

Одной из проблем, которую необходимо решать при оптимизации процессов оказания медицинской помощи, является выявление и устранение «узких мест» («бутылочных горлышек»). В настоящей работе по итогам моделирования установлено, что такими «узкими местами» являются терапевтическая смотровая и кабинет ЭКГ (периодическая загруженность более 80%).

К величине приведенных показателей следует относиться с известной осторожностью, т.к. часть исходных данных для построения модели была получена не прямыми измерениями, а путем опроса специалистов, например: минимальная, максимальная и наиболее частая длительность отдельных этапов обследования, средняя скорость перемещения пациентов и персонала, доля пациентов, нуждающихся в отдельных видах обследования (например, частота повторных рентгенографий у пациентов с травмами, доли ходячих и лежачих среди пациентов различных профилей). Но отсутствие некоторых точных исходных данных не снижает уверенности в полезности собственно метода имитационного моделирования, тем более, что описанные в настоящей работе результаты соответствуют сложившимся на основе многолетнего опыта представлениям о проблемах, имеющихся в деятельности ПО.

Одним из главных предназначений имитационного моделирования является получение ответов на вопросы, сформулированные при проведении виртуальных экспериментов. В настоящей работе при существующем потоке пациентов изучалось влияние на время их прохождения через ПО численности персонала, а также добавление мест снятия ЭКГ и осмотра пациентов терапевтом.

Не останавливаясь на деталях сценариев виртуальных экспериментов, можно сделать заключение, что добавление в график дежурств терапевта может уменьшить ВПВО для ходячих терапевтических больных примерно в 2 раза и ОВН – почти на 30%. Анализируемые изменения почти не влияют на ВПВО и ОВН лежачих пациентов, а также всех пациентов травматологического профиля. Добавление в график дежурств по одному регистратору, санитару и медсестре для большинства профилей уменьшает ВПВО и ОВН, но дополнительное увеличение численности этих категорий персонала такое влияние практически не усиливает.

ВЫВОДЫ:

- имитационное моделирование с использованием специализированного программного обеспечения FlexSim Healthcare позволяет получить малодоступные для других методов

анализа характеристики оказания медицинской помощи;

• цифровая модель деятельности медицинской организации позволяет локализовать «узкие места», приводящие к формированию очередей;

• виртуальные эксперименты с цифровыми моделями помогают поиску вариантов оптимизации деятельности приемного отделения многопрофильной больницы, заменяя при этом длительные и дорогостоящие управленческие эксперименты с использованием реальных ресурсов;

• имитационное моделирование оказания медицинской помощи может быть одним из этапов внедрения «бережливого производства» в практику здравоохранения;

• получению более точных результатов имитационного моделирования будет способствовать детальное описание процессов оказания медицинской помощи с хронометражем его отдельных этапов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Подгорбунских Е.И.* Рациональное использование процессного подхода при госпитализации в многопрофильную больницу // Экономика и управление: Анализ тенденций и перспектив развития. – 2012. – № 1. – С. 89–94.
2. *Карасев Н.А., Кислухина Е.В., Васильев В.А.* Использование теории массового обслуживания в организации лечебного процесса на госпитальном этапе скорой медицинской помощи // Вестник международной академии наук (русская секция). – 2006. – № 1. – С. 65–68.
3. *Borshchev A.* The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6. Kindle Edition. – 2013. – 614 p.
4. *Малышева Е.Н., Гольдштейн С.Л.* Обзор инструментария имитационного моделирования системы организации медицинской помощи как сложной динамической системы // Журнал «Врач и информационные технологии». – 2010. – № 3. – С. 31–37.
5. Методические рекомендации Минздрава РФ «Федеральный проект «бережливая поликлиника». Применение методов бережливого производства в медицинских организациях. Открытие проектов по улучшениям.» М.: 2017. – 53 с.
6. *Корчуганова Е.А., Алешко Е.В.* Практическое применение принципов «Бережливого производства» в медицинской организации // Современные образовательные технологии в деятельности кафедр общественного здоровья и здравоохранения, Либри Плюс. – 2017. – С. 107–110.
7. *Beaverstock M, Greenwood A., Nordgren W.* Applied Simulation: Modeling and Analyses using FlexSim. 5-th Ed., Uta, USA. – 2017. – 492 p.
8. *Боев В.Д.* Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. СПб. – 2010. – 368 с.
9. *Куликова О.М., Овсянников Н.В., Ляпин В.А.* Имитационное моделирование деятельности медицинских учреждений на примере Омска // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2014. – № 4 (18). – С. 219–225.
10. *Рагулин А.П., Савченко И.Ф.* Опыт создания имитационной модели учреждения «семейной медицины» // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003. Том 2. СПб.: ЦНИИТС. – 2003. – С. 196–200.
11. *Arisha Amr, Rashwan Wael.* Modeling of healthcare systems: past, current and future trends // Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference T.M.K. Roeder, P.I. Frazier, R. Szechtman, E. Zhou, T. Huschka, and S.E. Chick, eds. – 2016. Arlington, Virginia, USA. – P. 1525–1534.

Б.А. КОБРИНСКИЙ,
д.м.н., профессор, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, г. Москва, Россия; Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: kba_05@mail.ru
А.И. МОЛОДЧЕНКОВ,
к.т.н., Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, г. Москва, Россия; Российский Университет Дружбы Народов, г. Москва, Россия, e-mail: aim@tesyan.ru
Н.А. БЛАГОСКЛОНОВ,
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, г. Москва, Россия, e-mail: nblagosklonov@gmail.com
А.В. ЛУКИН,
Российский Университет Дружбы Народов (РУДН), г. Москва, Россия; ООО «Технологии системного анализа», г. Москва, Россия, e-mail: antonvlukin@gmail.com

МОДЕЛЬ ПАЦИЕНТА С ПЕЧЕНОЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕТА-АНАЛИЗЕ, ОРИЕНТИРОВАННОМ НА ПОДБОР АДЕКВАТНОЙ ТЕРАПИИ

УДК 025.4.03: 616.3
Кобринский Б.А., Молодченков А.И., Благосклонов Н.А., Лукин А.В. ***Модель пациента с печеночной недостаточностью для использования в мета-анализе, ориентированном на подбор адекватной терапии*** *(Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук; Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России; Российский Университет Дружбы Народов (РУДН); ООО «Технологии системного анализа», г. Москва, Россия)*

Аннотация. Проанализированы особенности классификации печеночной недостаточности в различных регионах мира. Изучены методы построения математических моделей пациентов и заболеваний. Предложена теоретико-множественная модель комплексного клинического представления пациента с печеночной недостаточностью, используемая в процессе мета-анализа. Модель учитывает этиологию и особенности течения болезни, а также региональные варианты классификации печеночной недостаточности в России, Европе, Америке и Азии. Приведен пример проведения мета-анализа по заданным критериям.

Ключевые слова: *печеночная недостаточность, мета-анализ, теоретико-множественная модель, выбор альтернативного медикаментозного лечения, региональные клинические особенности печеночной недостаточности.*

UDC 025.4.03: 616.3
Kobrinskii B.A., Molodchenkov A.I., Blagosklonov N.A., Lukin A.V. ***Model of the patient with liver failure for use in meta-analysis, focused on selection of adequate therapy*** *(Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences; N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; Peoples' Friendship University of Russia; LLC "Technologies for systems analysis")*

Abstract. The features of classification of liver failure in various regions of the world are analyzed. Methods for constructing mathematical models of patients and diseases have been studied. A set-theoretical model of the complex clinical presentation of a patient with hepatic insufficiency, used in the process of meta-analysis, is proposed. The model takes into account the etiology and features of the disease course, as well as regional variants of classification of hepatic insufficiency in Russia, Europe, America and Asia. An example of conducting a meta-analysis according to specified criteria is given.

Keywords: *liver failure, meta-analysis, set-theoretic model, choice of alternative medication, regional clinical features of liver failure.*

© *Б.А. Кобринский, А.И. Молодченков, Н.А. Благосклонов, А.В. Лукин, 2018 г.*

ВВЕДЕНИЕ

Взрывной рост публикаций по методам диагностики и лечения привел к тому, что лечащий врач тратит очень много времени для поиска новой информации, в особенности при обращении пациента с нетипично протекающим или редким заболеванием. Технология применения стволовых клеток привела к необходимости получения принципиально новых знаний. Одним из патологических состояний, где новые лечебно-диагностические решения и клеточные технологии применяются все шире, является такое тяжелое заболевание как печеночная недостаточность (ПН). Наряду с проблемой диагностики, подбор таргетной терапии еще более осложнил работу врачей. В связи с этим возникла необходимость разработки информационных технологий, которые из «океана» информации помогают осуществить направленный выбор публикаций, близких к ситуации, которая наблюдается у конкретного пациента. Решение этой проблемы опирается на алгоритмы поиска и анализа соответствующих литературных источников. В качестве адекватного подхода в этих случаях может быть использован мета-анализ [14]. Формирование клинических обзоров обеспечивает высокую степень доказательности получаемых данных. Разрабатываемые для этого программные средства обеспечивают информационную поддержку врачей. Примеры таких систем можно найти в работе, посвященной вопросам навигации «в море» медицинской литературы [6].

Для проведения эффективного поиска публикаций необходимо определиться со способом формального описания состояния пациента на основе ранее созданной модели данного заболевания («модели пациента»), учитывающей особенности характера и течения болезни при различной этиологии и в разные периоды ее развития.

В работе описана модель для проведения поиска публикаций по методам диагностики и лечения печеночной недостаточности с использованием мета-анализа.

Печеночная недостаточность

Печеночная недостаточность – полисистемное динамически протекающее заболевание, являющееся следствием различных факторов (аутоиммунных, токсических, вирусных и других). В ПН принято выделять 3 типа: острую (acute liver failure, ALF), хроническую (chronic liver failure, CLF) и обострение хронической (acute-on-chronic liver failure, ACLF) [12]. Для острой ПН (именуемой также фульминантной или молниеносной) характерно резкое развитие симптомов, в срок не более 8 недель, при отсутствии ранее отмеченных хронических заболеваний печени. Основной причиной развития данного вида печеночной недостаточности принято считать отравление алкоголем, лекарственными и токсическими веществами. Хроническая ПН характеризуется постепенностью развития с возможностью волнообразного течения с периодами улучшений и ухудшений в состоянии пациентов.

В европейском, азиатском и североамериканском регионах мира приняты свои характеристики термина «печеночная недостаточность» [13]. Среди них следует отметить особенно важное отличие в отношении понятия «обострение хронической печеночной недостаточности», так как оно определяет различный прогноз заболевания.

Наряду с классификацией ПН по типам, существуют также классификации по стадиям, различающиеся в отечественной и зарубежной медицине [7, 13].

Различные классификации печеночной недостаточности определяют особенности клинической картины, что определяет выбор тактики лечения.

Модели пациентов

Обращение к системам in vitro при применении математических моделей создает основы

не только для расширения представлений о потенциально происходящих в организме процессах, но и позволяет «перебросить мостик» к in vivo моделям. На основании полученных фактов могут быть построены гипотезы о протекающих в организме процессах, что позволяет прогнозировать течение заболеваний, в том числе на фоне применяемой терапии.

В настоящее время среди моделей пациентов и заболеваний, наиболее часто встречаются следующие виды:

- с использованием уравнений (систем уравнений);
- статистические модели;
- модели, построенные на основе искусственных нейронных сетей.

Каждый из подходов имеет свои положительные и отрицательные стороны, причём для моделирования процессов в некоторых внутренних органах и системах человека не представляется возможным применить любую методику. Предпочтение отдаётся в каждом конкретном случае наиболее адекватной модели.

Модели с использованием систем уравнений.

Эти модели используются в динамических системах, когда необходимо увязать фундаментальные физиологические закономерности и текущие характеристики патологического процесса. Например, для описания работы сердца [1], иммунного ответа при инфекционном заболевании [5].

В работе А.С. Абрамяна и А.О. Оганнисяна [1] для моделирования сердца используется набор уравнений, которые связывают основные физиологические параметры работы сердца, такие как давление в желудочках, артериальное давление, давление в лёгочных венах, ударный объём, минутный объём, частоту сердечных сокращений и т.д. Соответственно, измеряя доступные показатели сердечно-сосудистой системы можно оценить и те параметры, которые напрямую измерить не представляется возможным, что позволяет на основе расчетов осуществлять прогнозирование состояния пациента, в том числе в критических состояниях. Аналогичным образом поступают авторы [10, 11], моделирующие сердечно-сосудистую систему, представленную в виде последовательно соединённых между собой четырех упругих камер, причём изменение параметров в одной камере оказывает в той или иной степени влияние на остальные камеры, то есть полученные уравнения определяют давление в сердечных камерах в состоянии сокращения на пульсирующем сердце. Для описания процессов, протекающих в каждом отделе сердечно-сосудистой системы, применяются уравнения. Программно-аппаратный комплекс, реализованный на основе построенной модели, позволяет проводить углубленную оценку состояния сердечно-сосудистой системы в реальном времени на основе мониторного контроля. Математическая модель глобальной гемодинамики обеспечивает возможность индивидуализации с использованием web-приложения, которое позволяет определять динамику основных параметров сердечно-сосудистой системы [9].

Статистические модели.

В прогностических целях наиболее часто применяются статистические модели. Они основываются на эмпирических данных, когда известны значения входных и выходных переменных, но механизм работы модели остается неизвестен. В таких моделях применяют одномерный и двумерный анализ данных, но наиболее часто прибегают к методам многофакторного анализа данных, среди которых: регрессионный анализ, многофакторный дисперсионный анализ, дискриминантный анализ, кластерный анализ, анализ главных компонент и факторный анализ [8].

Статистические модели представляют собой формулы, в которые подставляются параметры, измеренные у пациента. В результате возможен прогноз заболевания.

Модели, построенные на основе искусственных нейронных сетей (ИНС).

При применении данного метода становится возможным выделить из входного массива данных наиболее существенные признаки, и в дальнейшем на их основе и полученных в ходе работы сети весовых коэффициентов строить диагностическую или прогностическую модель. Так, в статье [2] авторы используют аппарат ИНС для прогнозирования течения алкогольной болезни печени. Сначала авторы проводят обучение (параметрическую идентификацию) модели, затем в ходе анализа при дальнейшем исследовании удаляются параметры, имеющие низкую значимость. По результатам последующей идентификации авторы получают адекватную модель прогнозирования течения алкогольной болезни печени.

Рассмотренные модели являются математической симуляцией процессов, протекающих при определенной патологии.

Целью настоящей работы являлась разработка модели пациента, которую можно использовать для последующего отбора статей с применением наиболее эффективных методов лечения больных с печеночной недостаточностью с помощью мета-анализа.

Модель комплексного клинического представления пациента с печеночной недостаточностью как основа для применения мета-анализа

В связи с тем, что клиническую картину ПН можно представить как совокупность симптомокомплексов для моделирования пациента с печеночной недостаточностью было решено использовать теоретико-множественный подход. Была разработана теоретико-множественная модель пациента, опирающаяся на разнообразные клинические проявления заболевания [3], используемая в последующем при проведении мета-анализа. Идентификация конкретного синдрома и отнесение его к группе состояний с той или иной этиологией и осложнениями осуществлялось на основе клинических характеристик ПН. Основу модели составляют три множества критериев: «Критерии включения», «Критерии исключения» и «Неспецифические критерии». Эти группы критериев были выведены и модифицированы при анализе публикаций с описанием различных методов диагностики и лечения ПН. Данные критерии позволяют настраивать модель по конкретным параметрам пациентов.

Аналитический обзор литературы проводился на основе электронных баз статей (PubMed, Medline, РИНЦ и т.д.) и иной отечественной и зарубежной литературы (книги, журналы). Целью анализа был поиск описаний пациентов, в отношении которых проводились исследования по диагностике, характеру клинических проявлений и лечению печеночной недостаточности в разных регионах мира (Европа, Северная Америка, Азия, Россия).

Были отобраны исследования, в которых рассматривались относительно большие выборки с достаточно подробными клиническими описаниями, включающими данные о лабораторных данных (до и после лечения). При анализе литературных источников особое внимание было обращено на адекватность, достоверность и доказательность исследований.

Обзор использованной литературы (после предварительной отбраковки публикаций, не отвечающих выставленным требованиям) включал 33 источника, из них 5 отечественных и 28 зарубежных. При их анализе были выявлены общие для всех признаки печеночной недостаточности, а также дополнительные, которые варьировали в разных статьях.

В результате анализа было установлено, что основными критериями, подтверждающими наличие у пациента печеночной недостаточности, являются:

1. Синдром желтухи, обусловленный повышением уровня сывороточного билирубина выше 26 мкмоль/л [7]. Клинически проявляется

желтушностью кожных покровов, склер, слизистых пациента.

2. Синдром портальной гипертензии (повышение давления в портальной вене более 12 мм рт.ст.) [7], может развиваться вследствие внутри- или внепеченочной обструкции. Вне зависимости от причины развития синдрома портальной гипертензии, его проявления универсальны: спленомегалия с усилением ее функции, развитие порто-системных коллатералей, асцит. Асцит является характерным признаком портальной гипертензии, обусловленным повышением давления в синусоидах и внутрипеченочных лимфатических капиллярах [7].

3. Печеночная энцефалопатия представляет собой комплекс разнообразных нейропсихических расстройств, развивающихся при острой или хронической печеночно-клеточной недостаточности и/или функционировании портокавальных анастомозов. Характеризуется нарушениями сознания, интеллекта, изменением личности и поведения больного, а также нейромышечными нарушениями. В основе развития печеночной энцефалопатии лежит, прежде всего, нейротоксическое действие аммиака и других нейротоксинов на клетки головного мозга, что, в конечном счете, приводит к снижению функции нейронов [7].

4. Синдром печёночно-клеточной недостаточности проявляется снижением уровня веществ, синтезируемых гепатоцитом: альбумин, холестерин, фибриноген, протромбин, V и VII факторы свертываемости крови. Одновременно происходит увеличение протромбинового времени и МНО – международного нормализованного отношения [4, 7].

5. Синдром цитолиза является прямым доказательством некроза гепатоцитов. Проявляется в увеличении концентрации в крови пациента универсальных индикаторных ферментов – АЛТ (аланинаминотрансфераза) и АСТ (аспартатаминотрансфераза), а также в уменьшении их отношения (АЛТ/АСТ) – коэффициента Де Ритиса – до менее чем 1,33. Также увеличивается концентрация органоспецифических ферментов – ГлДГ (глутаматдегидрогеназа), ЛДГ (лактатдегидрогеназа) 5 фракции и др. [4, 7].

Поскольку перечисленные синдромы используются всеми авторами как критерии для включения пациентов в выборку при проведении исследований, то эта группа признаков была обозначена как «Критерии включения». Критерии включения используются для того, чтобы отбирать статьи, в которых группы пациентов обязательно удовлетворяют перечисленным критериям.

Наряду с этим, в ходе анализа литературы были выделены следующие признаки, не отвечающие цели данного исследования: ВИЧ, аутоиммунный гепатит, сепсис, рак печени, лёгочная недостаточность. Эти признаки получили у нас название «Критерии исключения» и статьи, рассматривавшие эти состояния, не отбирались для дальнейшего исследования при формировании выборки в процессе мета-анализа. Это связано с тем, что данные состояния видоизменяют клинику печеночной недостаточности и значительно осложняют и изменяют лечение пациентов. Поэтому «Критерии исключения» использовались в процессе анализа литературных источников для исключения статей.

Помимо «Критериев включения» и «Критериев исключения» была сформирована третья группа признаков, которая условно была названа «Неспецифические критерии». В её состав вошли:

- цирроз;
- гепатит;
- хроническая печеночная недостаточность в анамнезе;
- наличие поверхностного антигена вируса гепатита В в сыворотке крови в течение не менее 6 мес.;
- ДНК HBV в сыворотке крови ≥104 копий/мл;
- наличие у пациента суперинфекции или сочетанной инфекции (гепатит A, C, D, E, вирус Эпштейна-Барр, цитомегаловирус);

• лечение хронического гепатита в течение последних 12 месяцев;

• декомпенсация хронического заболевания печени в анамнезе;

• наличие любых других хронических заболеваний или других заболеваний печени (аутоиммунный гепатит, алкогольная болезнь печени, повреждение печени медикаментозной природы или болезнь Вильсона);

• увеличенное протромбиновое время как следствие болезни системы крови;

• хронический алкоголизм;

• неконтролируемый диабет;

• сердечно-сосудистые заболевания;

• злокачественные новообразования;

• предшествующая трансплантация печени.

Данные критерии могли служить отягощающим фактором и затруднять подбор медикаментозной терапии. Однако важность их рассмотрения определяется необходимостью в этих случаях коррекции «традиционной» терапии печеночной недостаточности. В связи с этим, одной из важных задач исследования был подбор пациентов не только с характерными симптомами, но и больных, нуждающихся в сочетанной терапии, учитывающей признаки других заболеваний, проявления которых были близки по клинико-лабораторным параметрам. Таким образом, и эти критерии нашли применение в модели для того, чтобы настраивать процедуру поиска и ранжирования публикаций.

Предложенная модель может быть таким образом использована при фасетном поиске. В этом случае модель пациента с определенным вариантом заболевания используется как фильтр при отборе публикаций. Каждый признак в модели задается областью его значений. Если значений для атрибута много или вообще неограниченное число, то часто используют диапазоны значений вместо самих значений. При анализе статей из текстов извлекаются признаки, характеризующие результаты обследования и их значения у пациентов. Производится оценка близости. На основании значения этой оценки публикация либо отфильтровывается, либо включается в массив, передаваемый пользователю (врачу).

Пример проведения мета-анализа

Так как предложенная модель пациента используется для поиска и отбора статей по заданным критериям, то сначала необходимо сформировать запрос с указанием того, какие исследования следует извлечь из базы.

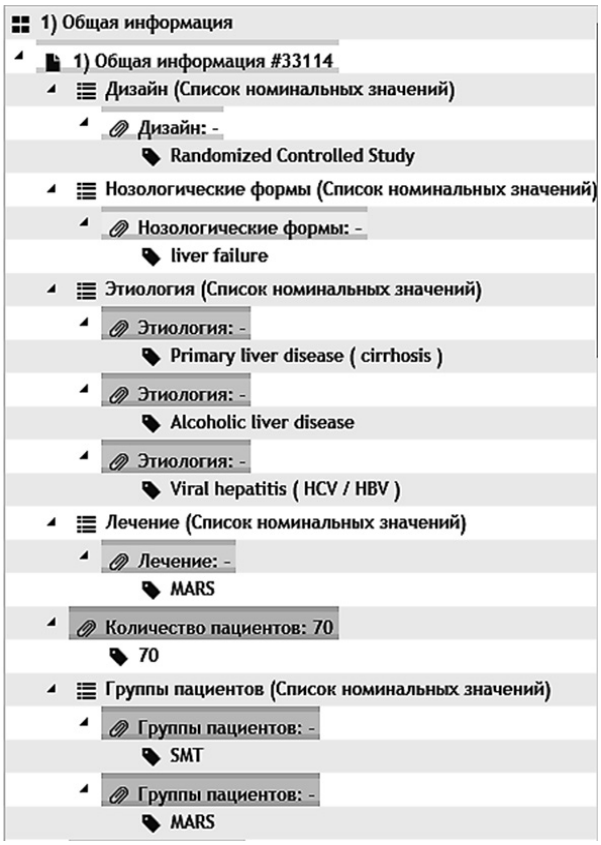


Рис. 1. **Параметры запроса для отбора статей о лечении с помощью молекулярной абсорбирующей рециркулирующей системы (МАРС) – экранная форма**

В качестве примера описания разнонаправленных признаков ниже приведен случай, когда необходимо было получить более подробную информацию о лечении ПН с помощью молекулярной абсорбирующей рециркулирующей системы (MARC) – экстракорпоральной системы для диализа *(рис. 1).*

Для поиска и отбора статей в запросе следует указывать следующие пункты (в качестве примера приведены ответы из *рис. 1):*

- нозологическая форма – liver failure;
- лечение – Molecular Adsorbent Recirculating System, MARS;
- дизайн исследования – randomized либо не указывается, тогда будут отобраны исследования с любым дизайном.

• Критерии включения являются признаками, подтверждающими наличие у пациента ПН, они используются комплексно, то есть в связке друг с другом. При этом допустимо три комбинации признаков:

1. желтуха (jaundice) + коагулопатия (coagulopathy) + асцит (ascites);

2. желтуха + коагулопатия + энцефалопатия (encephalopathy);

3. желтуха + коагулопатия + асцит + энцефалопатия.

При необходимости можно указать количественные характеристики каждого из критериев.

• Критерии исключения указываются для устранения публикаций, в которых присутствуют признаки, противоречащие принципу отбора запрашиваемых вариантов заболевания и лечения. Это необходимо для того, чтобы настроить фильтр системы для отсева исследований, в которых у испытуемых присутствовали параметры, наличие которых нежелательно и могло повлиять на патогенез, либо лечение ПН. Однако, если по всем остальным параметрам испытуемые, описанные в исследовании, близки к пациенту, то такая статья будет также отобрана из базы, но будет иметь более низкий рейтинг ранжирования и окажется внизу списка с пометкой, что у испытуемых присутствует признак из группы исключения.

• Неспецифические критерии можно условно назвать «нейтральными» для ПН, однако их отбор из базы статей определяется специфичностью по клиническим и анамнестическим проявлениям к больному с печеночной недостаточностью при одновременном наличии изменений, требующих коррекции основного лечения. Статьи с такими группами пациентов помечаются специальной меткой, а затем проводится ранжирование выбранных публикаций в зависимости от количества совпадений по неспецифическим критериям.

Обратимся теперь к варианту запроса и получения статей по ограниченному набору показателей:

- Критерии включения: общий билирубин >5 мг/дл (>84,75 мкмоль/л), МНО ≥ 1,5, энцефалопатия и/или асцит.
- Критерии исключения: ВИЧ, сепсис.
- Неспецифические критерии: алкогольный цирроз (alcoholic cirrhosis).

Вначале был проведен эксперимент с применением в качестве фильтра только печеночной недостаточности и методики лечения, что позволило отобрать из базы 13 статей (фрагмент экранной формы с перечнем исходной базы статей представлен на *рис. 2).* После применения критериев включения и исключения выборка уменьшилась до 11 статей. Применение неспецифических критериев позволило отсеять ещё 1 исследование. Затем было проведено ранжирование отобранных статей в соответствии с учетом наибольшей близости к указанным (запрошенным) параметрам.

Таким образом, применение в качестве фильтра критериев пациента, предложенных в модели, позволило эффективно отсеять избыточные публикации, оставив в выборке только те, которые наиболее специфичны требуемым параметрам.

Загруженные документы

	Название	Файл
☐	Abdel-Rahman 2015	abdel-rahman-2015.pdf
☐	Albert 2009	albert-2009.pdf
☐	Albert 2014	albert-2014.pdf
☐	banares 2013	banares2013-hepatology.pdf
☐	banayosy2004	banayosy2004.pdf
☐	Bjom 2012	bjom-2012.pdf
☐	Christoph 2016	christoph-2016.pdf
☐	duan2013	duan2013.pdf
☐	garg2012	garg2012.pdf
☐	Hanz u 2017	hanz-u-2017.pdf
☐	hassanein2007	hassanein2007.pdf
☐	Hoda Al 201	hoda-al-2015.pdf
☐	Hosny 2010	hosny-2010.pdf
☐	Hosny 2014	hosny-2014.pdf
☐	kedarisetty2015	kedarisetty2015.pdf
☐	Liang 2011	liang-2011.pdf
☐	Marius 2016	marius-2016.pdf
☐	Mehdi Mohamadnejad 2015	mehdi-mohamadnejad-2015.pdf
☐	Peter 2006	peter-2006.pdf
☐	prajapati2017	prajapati2017.pdf
☐	singh2014	singh2014.pdf
☐	spahr2008	spahr2008.pdf
☐	Taru Kantols	taru-kantols.pdf
☐	Uve Heemann 2002	uve-heemann-2002.pdf
☐	Vanessa 2006	vanessa-2006.pdf
☐	Win 2006	win-2006.pdf
☐	Yang-Qiu 2014	yang-qiu-2014.pdf
☐	Catalina	satalina.pdf

Рис. 2. **Фрагмент исходной базы статей**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании характеристик теоретико-множественной модели печеночной недостаточности (модель пациента с печеночной недостаточностью) был осуществлен мета-анализ в целях поиска в базе PubMed и других публикаций, отвечающих определенным критериям в области диагностики и выбора лечебной тактики. В основу отбора публикаций положен поиск сходных по клиническим проявлениям случаев заболеваний. Принципиально важным аспектом поисковых характеристик являются сформулированные в рамках модели «Критерии включения», «Критерии исключения» и «Неспецифические критерии», использующиеся при мета-анализе в качестве фильтра для отбора статей. По этим трем критериям производится целевой поиск и последующее ранжирование статей, необходимых для целенаправленной диагностики и персонифицированного лечения больных печеночной недостаточностью с учетом сходства особенностей их клинической картины с описанными в статьях. Приведенный пример использования программного комплекса для мета-анализа демонстрирует работу системы и возможность сокращения числа отбираемых публикаций в соответствии с требованиями, отвечающими особенностям патологии у конкретного больного.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамян А.С., Оганнисян А.О.* Математическая модель сердца для количественного анализа ультразвуковой допплер-эхокардиографии // Медицинская наука Армении НАН РА. – 2015. – Т. 55. – № 1. – С. 108–113.

2. *Арзамасцев А.А., Лифшиц В.Б., Чичук В.Н.* Разработка математической модели прогнозирования течения алкогольной болезни печени // Вестник ТГУ. – 2012. – Т. 17. – № 4. – С. 1246–1253.

3. *Кобринский Б.А., Молодченков А.И., Благосклонов Н.А., Лукин А.В.* Методы мета-анализа в диагностике вариантов и лечении пациентов с печеночной недостаточностью // Программные продукты и системы. – 2017. – Т. 30. – № 4. – С. 745–753.

4. *Комаров Ф.И., Хазанов А.И., Калинин А.В.* Диагностика и лечение внутренних болезней. Руководство для врачей в 3-х томах. Под общей редакцией Ф.И. Комарова. Т. 3. Болезни органов пищеварения и системы крови. М: Медицина, 1996, 528 с.

5. *Кондратьев М.А.* Разработка модели распространения инфекционных заболеваний на основе агентного подхода. СПб: Издательство Политехнического университета, 2012, 19 с.

6. *Назаренко Г.И., Осипов Г.С., Клейменова Е.Б., Смирнов И.В., Назаренко А.Г., Молодченков А.И.* Навигатор по медицинской литературе. Методы и программные средства поддержки технологии доказательной медицины // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – № 4. – С. 51–60.

7. *Радченко В.Г., Шабров А.В., Зиновьева Е.Н.* Основы клинической гепатологии. Заболевания печени и билиарной системы. СПб: Издательство БИНОМ. – 2005, 864 с.

8. *Реброва О.Ю.* Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. 3-е издание. М: МедиаСфера, 2006, 312 с.

9. *Синдеев С.В.* Комплекс программ для моделирования глобальной гемодинимики пациента с возможностью индивидуализации // Математическая кардиология. Теория, клинические результаты, рекомендации, перспективы. Под науч. ред. В.А. Лищука и Д.Ш. Газизовой. М.: ООО «ПРИНТ ПРО». – 2015. – С. 113–120.

10. *Фролов С.В., Маковеев С.Н., Газизова Д.Ш., Лищук В.А.* Модель сердечно-сосудистой системы, ориентированная на современную интенсивную терапию // Вестник ТГТУ. – 2008. – Т. 14. – № 4. – С. 892–902.

11. *Фролов С.В., Синдеев С.В., Лищук В.А., Газизова Д.Ш., Медведева С.А.* Четырехкамерная модель сердечно-сосудистой системы человека // Вопросы современной науки и практики. – 2012. – Т. 2. – № 2(40). – С. 51–60.

12. *Хорошилов С.Е., Половников С.Г., Асташев В.Л., Скворцов С.В., Кудряшов С.К., Хазанов А.И.* Острая (молниеносная) и острая/хроническая печеночная недостаточность: возможности коррекции альбуминовым диализом на аппарате MARS // Российский журнал Гастроэнтерологии, Гепатологии, Колопроктологии. – 2007. – № 2. – С. 57–62.

13. *Kim T.Y., Kim D.J.* Acute-on-chronic liver failure. Clinical and Molecular Hepatology. – 2013. – Vol. 19. – № 4. – P. 349–359.

14. *Petitti D.B.* Meta-analysis, Decision Analysis and Cost-effectiveness Analysis: Methods for Quantitative Synthesis in Medicine, 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2000, 306 p.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-29-07354.

Москва, Конгресс-центр гостиницы “Космос”

11-12 октября 2018г.

Международный конгресс “Информационные технологии в медицине”

Проводится с 1999г.

Тематика

- Программное обеспечение
- Электронная медицинская карта
- Нормативное обеспечение. Интеграция
- Статистика, аналитика, качество
- Телемедицина, mHealth
- Кибербезопасность
- СППВР, Искусственный Интеллект

Выставка

- Комплексные решения
- Лабораторные системы
- Радиологические системы
- Аптека, движение лек.средств
- Административные системы
- Телемедицина, mHealth
- Интеграция
- Оборудование и ПО

#ИТМ2018

Публикации

- Научные статьи
- Тезисы
- Обзоры

Коммуникации

- Встречи
- Контакты
- Обсуждения

Участники

- Гос. координаторы
- Мед. статистики
- Главврачи
- Медики
- Разработчики

Конкурс

Лучшее ИТ решение для здравоохранения

- Он-лайн голосование
- Экспертная комиссия

Организатор: КОНСЭФ consef.ru

#ИТМ2017. Цифры и факты

2 дня

1147 участников

84 региона РФ

5 стран

- 3 конференции
- 1 всероссийское совещание
- 9 тематических секций
- 1 симпозиум
- 1круглый стол
- 1мастер класс
- 104 доклада
- 110 ИТ-решений на выставке
- 12 научных статей
- 46 тезисов
- 251 свидетельство НМО

~3000 рукопожатий

~300 кг яблок

ITMcongress.ru

17 098
28 553
4,55

Центральный реестр пациентов

Региональная демографическая система, включая учет прикрепленного населения и специализированные регистры граждан

1. Автоматизированное накопление выверенной и постоянно актуализируемой демографической информации
2. Повышение эффективности работы различных медицинских информационных систем (МИС)
3. Реализация принципа «однократного ввода, многократного использования» в части регистрации и обновления демографических данных
4. Снижение числа штрафов и отклоненных на оплату случаев лечения в системе ОМС
5. Автоматизированное выявление и контроль «конфликтов» прикрепления пациентов
6. Автоматизированное выявление и устранение дублей сведений о пациентах
7. Снижение неэффективного расходования средств ОМС при оплате по душевому финансированию
8. Сокращение времени работы регистраторов при первичном обращении пациентов

Решения для автоматизации медицинских организаций

Комплексная МИС

Комплексная система, включая ЭМК, поддержку работы врачей, медицинскую статистику и взаиморасчеты по ОМС/ДМС

КМИС. Финансы

Решение для учета медицинских услуг и сдачи реестров по ОМС

КМИС. Аптека

Система для больничной аптеки и учета лекарственных средств

КМИС. Лаборатория

Лабораторная информационная система (ЛИС) для автоматизации клинико-диагностической лаборатории

www.kmis.ru
(814-2) 67-20-10
185030, Российская Федерация, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Л. Чайкиной, 23Б

Комплексные Медицинские Информационные Системы

Врач и информационные технологии