

Основные результаты, полученные в рамках выполнения исследований по программе ориентированных фундаментальных исследований РФФИ «Информационные технологии для клинической медицины (Е-здравоохранение)» (2013-2015 гг.).

(по результатам обсуждения с Руководителями и Исполнителями проектов на итоговом заседании Экспертного Совета)

Введение

Разработка информационных технологий для клинической медицины приобрела особую актуальность в последние годы из-за быстрого роста объема генерируемых медицинских данных, обработка которых практически невозможна без современных интеллектуальных технологий. Только в 2012 году мировой объем медицинских данных составил 500 петабайт (более полумиллиона терабайт), а к 2020 году он должен преодолеть планку в 25000 петабайт. В столь быстро развивающейся области человеческого знания как медицина крайне важно обладать полной и актуальной информацией для разработки новых способов терапии и диагностики различных заболеваний, оптимизации протоколов лечения, а также увеличения эффективности управления медицинским персоналом. Для решения возникающих на этом пути задач в 2013-2015 годах была объявлена программа ориентированных фундаментальных исследований РФФИ «**Информационные технологии для клинической медицины (Е-здравоохранение)**», в рамках которой было выполнено значительное число исследований по актуальным направлениям клинической медицины, в том числе: разработка методов автоматического анализа информации и оценки актуальности направлений исследований в области регенеративной медицины; разработка и реализация алгоритмов для автоматизированного сбора документов и обоснования возможности использования конкретного продукта регенеративной медицины для проведения первых фаз клинических испытаний; исследование методов и создание средств интеллектуального анализа данных для синтеза медицинских технологических процессов; применение электронных технологических карт для реализации пациент - ориентированного подхода; разработка электронных средств оперативного доступа к новейшей лечебной и диагностической информации; разработка программных средств оценки достоверности и клинической доказательности информации. В рамках этих направлений был получен ряд важных результатов мирового уровня.

Всего было профинансировано 16 проектов. Полученные результаты отражены в 192 публикациях, в том числе: 1 монография, 47 – в рецензируемых изданиях из списка ВАК, 22 – в изданиях, включенных в международные системы цитирования (Web of science, Scopus), 81 – в изданиях, включенных в РИНЦ. Также результаты работы по этой теме докладывались на 68 Международных или Всероссийских научных мероприятиях, которые проводились в 2013-15 гг. Были опубликованы статьи в таких высокорейтинговых журналах, как Искусственный интеллект и принятие решений, International Journal «Information Theories and Applications», Молекулярная медицина, Computational Mathematics and Mathematical Physics, Pattern Recognition and Image Analysis, Вопросы нейрохирургии, Информационные технологии и вычислительные системы, Врач и информационные технологии, Вестник РАМН, Труды Института системного анализа РАН, Журнал вычислительной математики и математической физики, Математическая

биология и биоинформатика и др. Среди конференций можно выделить следующие: Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии», Proceedings of Science and Information Conference, International Conference «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains», International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON), ISPOR Annual European Congress, Международная конференция «Диалог», International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, International Conference «Classification, Forecasting, Data Mining» и др. Зарегистрированы 5 объектов интеллектуальной собственности.

Краткие описания выполненных проектов.

В рамках проекта «Исследование методов и разработка и алгоритмов переноса компетентности врача для создания электронных медицинских технологических карт» за все время выполнения проекта получены следующие важнейшие результаты: разработана структура электронной медицинской технологической карты, определены задачи, для решения которых необходимо использование медицинских технологических карт; определены типы медицинских знаний, которые необходимо извлекать из текстов и выявлять во взаимодействии с экспертами для переноса в технологические карты; определены способы представления медицинских знаний; разработаны алгоритмы извлечения знаний из текстов для решения задачи переноса компетентности; разработаны алгоритмы приобретения знаний от экспертов для решения задачи переноса компетентности врача; разработан гибридный метод извлечения знаний, включающий алгоритмы извлечения знаний из текстов и приобретения знаний от экспертов, а также методы их взаимодействия для решения задачи переноса компетентности; реализован экспериментальный образец системы переноса компетентности врача и проведены экспериментальные исследования разработанных алгоритмов. Электронные медицинские технологические карты создаются для управления медицинским технологическим процессом. Сам медицинский технологический процесс представляет собой направленный граф, включающий в себя последовательные, параллельные, условные и итеративные маршруты. В качестве способа представления знаний в медицинской технологической карте используется семантическая сеть. Разработанный гибридный алгоритм переноса компетентности включает в себя совместную работу двух алгоритмов: извлечения знаний из текстов и приобретения знаний от экспертов. Алгоритм извлечения знаний из текстов автоматически выделяет в тексте лечебные мероприятия, условия их применения и другую необходимую информацию. Алгоритм приобретения знаний от эксперта включает в себя систему правил и несколько процедур для проведения интервью эксперта; при этом процесс интервью управляется уже приобретенными из клинических руководства знаниями. Для проведения экспериментальных исследований разработанных алгоритмов был разработан прототип системы переноса компетентности врача. Экспериментальные исследования разработанных методов и алгоритмов были проведены на пяти нозологических формах.

В рамках проекта «Разработка модели медицинских технологических процессов и методов контроля их реализации» разработана информационная модель медицинского технологического процесса (МТП) на основе создания онтологии технологической карты (ТК), представляющая собой семантическую сеть, узлам которой соответствуют классы, физические объекты, роли, время, элементы технологического процесса, параметры задач, цели и другие элементы ТК, а дугам – отношения между классами, объектами и другими элементами ТК. Создана онтология клинических целей, описывающих состояние пациента, которое надлежит достичь в результате выполнения запланированных

мероприятий. Разработана таксономия лечебно-диагностических мероприятий (ЛДМ). Способом регистрации исполнения ЛДМ может быть прямая регистрация в среде исполнения МТП или информация, поступающая из других приложений, причем последний метод является предпочтительным. Изучены и реализованы методы представления медицинских данных в ТК, определены источники этих данных. Для регистрации выполнения диагностических (визуализационных, функциональных) и лечебных процедур, связанных с перемещением пациента в пределах стационара, а также консультаций специалистов в режиме реального времени апробирована система радиочастотной идентификации (СРЧИ).

В онтологию введен класс «Контрольные точки» – характерные элементы МТП, в которых чаще всего возникают системные (связанные с неправильной организацией работы) отклонения и ошибки. Исполнение ЛДМ, относящихся к классу контрольных точек, либо их характеристики (например, дата-время исполнения) являются индикаторами качества МТП. На основе анализа результатов исполнения 63 ТК разработаны алгоритмы отказа от выполнения ТК, а также методика анализа отклонений от МТП и эффективности ТК, опирающаяся на метод 6 сигм. Развита онтология показателей качества и безопасности медицинской помощи, в которой использованы классификация тяжести нанесенного здоровью пациента вреда и шкала вероятности предотвращения неблагоприятного события. Разработаны онтологические прототипы МТК по трем заболеваниям, функциональные требования к системе моделирования МТП и управления ТК, шаблоны врачебных назначений для передачи из ТК в электронную историю болезни, включая лекарственные назначения, направления на диагностические исследования, лечебные процедуры и консультации, а также формы представления результатов выполнения ТК для текущей и заключительной экспертизы. Реализованы алгоритмы взаимодействия медицинских данных в ТК с данными, хранящимися в других информационных системах. В частности, разработан и апробирован общий алгоритм контроля за выполнением ТК с использованием данных СРЧИ. Проведена апробация прототипа системы построения и управления моделью МТП, которая продемонстрировала перспективность данного направления исследований.

В рамках проекта «Исследование и разработка методов и алгоритмов синтеза медицинских технологических процессов на основе прецедентной информации» получен ряд значимых результатов: разработаны методы извлечения различных типов потоков работ из медицинских данных; метод синтеза обобщенной схемы МТП на основе прецедентной информации; методы разбиения технологического процесса на классы эквивалентности; алгоритмы совмещения циклов обработки, необходимых для построения специализированных конвейерных МТП. Алгоритмы совмещения циклов выполнения медицинских операций служат для оптимизации назначения повторяющихся операций на имеющееся медицинское оборудование. После выполнения этапов оптимизации на их основе, получают варианты реализации технологического процесса соответствующие заранее установленным критериям времени и объемов оборудования. Разработан алгоритм синтеза обобщенной схемы МТП на основе прецедентной информации, представленной в виде матриц смежности, описывающих частные технологические процессы (экземпляры); разработан алгоритм выбора направления движения по схеме лечения в точках ветвления. Алгоритм позволяет синтезировать обобщенные и частные МТП с учетом индивидуальных особенностей пациентов. Предложены нейросетевые алгоритмы, которые позволяют распознавать и классифицировать виды и степень тяжести заболеваний. Проведены необходимые

экспериментальные исследования на реальных медицинских данных. В том числе протестированы разработанные алгоритмы построения различных типов потоков работ на основе системы продукционных правил; алгоритмы разбиения медицинских технологических процессов на классы эквивалентности использующие математический аппарат деревьев решений, нейронных сетей и когнитивной графики. Для проведения экспериментов был разработан прототип программной информационно-аналитической системы. В качестве отдельного исследования проводилась оценка отклонений экземпляров МТП от установленных стандартов. Предложенные методы синтеза МТП, оценки отклонений реализуемого МТП от эталонов и прецедентов, методы классификации степени заболеваний соответствуют мировым аналогам, что следует из анализа зарубежных публикаций. На основе полученных результатов выработаны рекомендации по разработке и применению системы автоматического синтеза обобщенной схемы МТП на основе прецедентной информации. Для ускорения вычислений в случае необходимости массовой обработки медицинских данных, включая снимки, предложены средства высокопроизводительной обработки данных.

В ходе выполнения проекта «Динамический анализ экспериментальных и клинических данных для выявления наиболее актуальных направлений разработки технологий регенеративной медицины» разработан метод отслеживания новых экспериментальных и клинических данных в области регенеративной медицины, позволяющий систематически решать задачи обнаружения и формирования вторичных информационных ресурсов из различных источников. Этот метод заключается в автоматическом мониторинге набора периодических изданий в области регенеративной медицины. Для выявления новых данных используется сравнение новых публикаций и имеющихся в информационной базе. Разработан метод выявления направлений научных исследований в области регенеративной медицины, позволяющий выполнять более детализированную систематизацию научных данных, быстрее и эффективнее вычлнять необходимую информацию. Метод основан на алгоритме тематической кластеризации, развивает идеи метода Роккио, и состоит из двух шагов: 1) выделение ядер кластеров, 2) классификация оставшихся документов по выделенным ядрам. Преимущество рассмотренного метода состоит в том, что он может применяться для выделения научных направлений без использования информации из баз цитирования. Благодаря этому, он позволяет выявлять новые направления, для которых еще не сформированы сети цитирования, что важно для такой быстроразвивающейся области как регенеративная медицина. Разработан метод анализа актуальности направлений исследований в области регенеративной медицины, позволяющий в динамике систематизировать по приоритетным направлениям полученные экспериментальные и клинические данные, а также выявлять наиболее перспективные направления в регенеративной медицине. Для оценки актуальности научных направлений используется несколько критериев: наличие научных коллективов, работающих в анализируемом направлении и имеющих положительную динамику публикационной активности; уровень качества публикаций коллектива, динамика появления научных результатов, представленных авторами коллектива в публикациях. Разработан и реализован метод выявления научных коллективов в направлениях регенеративной медицины, обеспечивающий формирование референтного списка групп, который позволяет быстро и в деталях сравнивать собственные результаты с уже имеющимися мировыми данными. Метод выявления научных коллективов в направлениях регенеративной медицины состоит из двух этапов. На первом этапе выполняется автоматический анализ текстов публикаций для выявления авторов публикации и выделения имен авторов из списка использованных источников. На втором этапе производится формирование референтного списка групп с использованием данных, полученных на первом этапе.

В рамках проекта «Информационные технологии отбора пациентов онкологического профиля для применения дендритноклеточных вакцин» разработан интерактивный алгоритм, а также прототип информационной системы, реализующей через Web-интерфейс все этапы работы от поиска информации до построения гипотез о причинно-следственных связях. С использованием прототипа информационной системы получена репрезентативная выборка полноразмерных научных статей по теме исследования и проведена их пробная разметка. С помощью разработанного прототипа, выполнено уточнение структуры извлекаемой информации с применением добавленных возможностей и переработан корпус репрезентативных статей. Экспериментальная оценка эффективности разработанного метода извлечения информации показала, что средняя F1-мера установления нормализованных значений в зависимости от атрибута составляет от 0.6 до 1. На основе построенного классификатора предложен и исследован метод извлечения причинно-следственных связей с предварительным обучением. Предложенный метод позволяет анализировать неполные (разреженные) данные большого объема. Также был разработан метод преобразования гетерогенной извлеченной информации – элементы, которой могут соответствовать как отдельным пациентам, так и их группам – в однородную выборку, подходящую для дальнейшего анализа и построения гипотез о причинно-следственных связях. Для выявления влияния свойств пациентов на исход лечения, проводились две серии экспериментов – для оценки разделимости (тестирование на обучающей выборке) и для оценки предсказательной способности (трехкратная перекрестная проверка). В результате были выявлены признаки, влияющие на достижение объективного клинического ответа и превышение порога времени выживаемости пациентов, среди которых: возраст, стадия заболевания, пол, гаплотип и др. На основе полученных результатов были сформулированы предложения и рекомендации по использованию разработанных подходов к отбору пациентов онкологического профиля для назначения им дендритноклеточной вакцины.

В проекте «Создание алгоритма построения портфолио для получения допуска к клиническим испытаниям» были разработаны и реализованы алгоритмы сбора информации по методам регенеративной медицины. Данная задача решалась посредством интерактивной метапоисковой машины: пользователь задаёт начальное описание клинического испытания в виде текста на естественном языке, затем система автоматически генерирует запросы к поисковым машинам, скачанные документы используются для выделения новых слов и составления новых запросов. Также был разработан и реализован интерактивный алгоритм оценки адекватности, основанный на заполнении опросника с помощью автоматического анализа собранной информации. В опросник вошли следующие разделы: 1. Выбор вида животного. 2. Выбор животных моделей заболевания. 3. Характеристики исследуемого продукта регенеративной медицины. 4. Доказательство концепции (Proof-of-Concept Studies). 5. Токсикологические исследования. Опросник также управляет процессом сравнения предлагаемого метода с найденными. В ходе выполнения проекта были разработаны и реализованы алгоритмы сравнения предлагаемого метода регенеративной медицины с имеющимися в клинической практике методами. Сравнение предлагаемого метода регенеративной медицины с имеющимися в клинической практике методами осуществлялось на основе их текстового описания. Процесс сравнения управляется опросником, упомянутым выше: он включает в себя вопросы, выступающие критериями сравнения (например, являются ли родственными нозологические формы, рассматриваемые в предлагаемом клиническом испытании и найденном). Разработаны и реализованы алгоритмы составления обзора по аналогичным методам регенеративной медицины, имеющим клиническое применение. Составление обзора по аналогичным методам регенеративной медицины заключается в

систематизации и обобщении найденной информации и преобразовании результатов обобщения в текст на естественном языке. В рамках данного проекта разработан и реализован алгоритм, основанный на информационном поиске и кластеризации текстовых документов, целью которого является помощь эксперту в составлении текста обзора посредством предоставления функций поиска и кластеризации документов. Результатом всего процесса является портфолио, которое представляет собой набор документов, в которых собрана информация по конкретному продукту регенеративной медицины и обоснована возможность использования данного продукта для проведения первых фаз клинических испытаний при определенной нозологии, проведена оценка адекватности использованных в доклинических исследованиях животных моделей заболеваний, проанализированы риски и биологические активности продукта регенеративной медицины на этих моделях заболеваний, разработан дизайн клинических испытаний с указанием критериев отбора пациентов, режимом дозирования продукта и способом его введения, а также разработаны методы мониторинга клинических данных.

В проект «Исследование методов и средств интеллектуального анализа данных для построения комплексной системы интеллектуальной обработки данных (на примере многопрофильного педиатрического центра)» разработан и реализован метод извлечения информации из медицинских текстов на русском языке. Выработаны предложения по составу анализируемых показателей состояния здоровья. Выработаны предложения по составу типовых направлений применения системы интеллектуальной обработки медицинских данных. Определен состав данных, с которыми должна работать система интеллектуальной обработки медицинских данных. Разработаны и реализованы методы комплексного интеллектуального анализа медицинских данных. Разработан прототип комплексной распределенной системы интеллектуальной обработки больших объемов медицинских данных применительно к условиям многопрофильного педиатрического медицинского центра. Проведены экспериментальные исследования разработанных методов с оценкой их эффективности.

В результате выполнения работ по проекту «Разработка моделей, алгоритмов и экспериментальных программных средств комплексной системы подготовки индивидуальных программ управления рисками возникновения заболевания и анализа состояния здоровья на основе технологий удалённого медицинского мониторинга (на примере педиатрии)» исследованы основные подходы к организации удалённого мониторинга; выбран общий подход к организации сети мониторинга; выбран спектр характеристик, доступных для удаленного сбора и анализа; разработана модель подсистемы удалённого мониторинга здоровья пациентов детской возрастной категории; разработан алгоритм прогнозирования состояния пациента на основе анализа качественных и количественных показателей; разработан алгоритм формирования индивидуальных программ управления рисками на основе информации о состоянии здоровья пациента; разработана модель комплексной информационной системы подготовки индивидуальных программ управления рисками; разработан прототип системы удалённого мониторинга состояния здоровья пациентов детской возрастной категории; проведены экспериментальные исследования разработанного прототипа. Мониторинг состояния пациентов осуществляется отдельно по каждой нозологии. Для каждой нозологии экспертами выбираются показатели, которые необходимо отслеживать. При этом разработанные методы и алгоритмы позволяют проводить оценку состояния параллельно по нескольким нозологиям. Все разработанные алгоритмы были реализованы в экспериментальных программных средствах удалённого мониторинга состояния

пациентов детского возраста. Были проведены экспериментальные исследования разработанных алгоритмов на трех нозологических формах: бронхиальная астма, аллергический ринит и атопический дерматит. Для каждой нозологической формы были отобраны группы пациентов и выделены показатели, которые необходимо отслеживать т.к. они влияют на состояние пациентов. Эксперименты показали, что разработанные алгоритмы достаточно эффективно оценивают состояние пациентов и формируют действия по стабилизации состояния пациентов.

В рамках проекта «Разработка и исследование моделей и методов анализа, классификации, прогноза в медицине, методов оценки риска социально-значимых заболеваний с учетом особенностей различных пациентов по данным медицинских регистров» проведены исследования по развитию моделей поиска логических закономерностей классов (ЛЗК) по выборкам прецедентов, основанных на дискретном анализе данных. Создан общий подход к нахождению всех максимальных ЛЗ заданного класса. Исследованы два подхода к обработке множеств ЛЗК: основанный на минимизации логических описаний классов и основанный на кластеризации. Созданы соответствующие численные методы. Обобщен метод минимизации дисперсионного критерия на случай кластеризации взвешенных объектов. Созданы и апробированы методы построения новых оптимальных логических моделей распознавания, эффективные в случае малых и средних обучающих выборок. Задача сведена к построению оптимального линейного классификатора в пространстве значений ЛЗК и отрицаний их дизъюнкций. Созданы и реализованы новые практические методы классификации и анализа медицинских данных. Создана двухуровневая схема решения задачи поиска выбросов, основанная на кластеризации данных, и алгоритм сглаживания эмпирического распределения в целях удаления случайных выбросов. Показано, что выборочное распределение быстро нормализуется с возрастанием числа итераций, и уже с четвертой итерации его приближение гауссианой может оказаться приемлемым для построения численных оценок за классы. Предложен и апробирован метод статистической верификации закономерностей с учётом эффекта множественного тестирования. Создана модель выбора методов лечения заболеваний, основанная на объединении алгоритмов оценки различных методов лечения. Создана двухэтапная человеко-машинная схема. Задача решена для оперативного лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника при четырех видах операций (чрескожная лазерная дискэктомия, микродискэктомия, радиочастотная деструкция фасеточных нервов, фиксация позвоночника). Точность алгоритма при этом составила 96.8%. Созданы методы анализа и выявления особенностей различных пациентов. Для выявления существенных особенностей пациентов разработан метод, основанный на поиске статистически достоверных закономерностей, связывающих исход с различными клиническими показателями. Исследовалась задача выявления взаимосвязей между качеством лечения и квалификацией медицинского персонала на данных из кардиологии. Выяснилось, что весьма информативным признаком является «стаж работы врача». Проведены исследования по адаптации моделей поиска ЛЗК и созданию высокоточных методов классификации по кардиологическим, онкологическим, нейрохирургическим и неврологическим базам данных. Найдены множества ЛЗК и получены оптимальные алгоритмы классификации в различных моделях, выделены информативные подмножества признаков. В неврологии рассматривались 4 задачи. Первые две задачи состояли в оценке состояния пациента при поступлении. В остальных было также два класса – пациенты с положительной или отрицательной динамикой, при этом функциональный исход при выписке оценивался по шкалам Рэнкин и NIHSS перед

выпиской. Лучшие результаты распознавания показали логические алгоритмы (точность алгоритма «голосование по тупиковым тестам» (ТТ) составила 69.6% - 96.4%). В области кардиологии рассматривались задачи с плановым или экстренным вмешательством. Здесь точность находилась в интервале 90.6% - 96.3%. В области онкологии точность прогноза состояния пациента составила 86.5% при раке предстательной железы и 89.2% (метод ТТ) при раке желудка. В области хирургии рассматривались задача оценки состояния пациента после хирургического вмешательства при холецистите. Наилучшая точность была у метода «линейная машина» 88.7%. Созданы макеты программных систем анализа, диагностики, прогноза в медицине, что позволит учитывать поправки на факторы риска для объективной ежегодной оценки летальности в многопрофильном стационаре, нивелируя тяжесть пролеченных пациентов

В ходе выполнения проекта «Разработка персонализированной модели электронных лекарственных назначений с целью повышения эффективности и безопасности фармакотерапии в лечебно-профилактическом учреждении», разработана модель системы электронных лекарственных назначений (ЭЛН) представляющая собой модульную систему, основу которой составляет конфигуратор лекарственных препаратов, позволяющий детально описать лекарственные препараты. Разработаны алгоритмы проверки лекарственных назначений на потенциальные межлекарственные взаимодействия. Разработан алгоритм обоснованной отмены лекарственных средств (ЛС) у пациентов с высоким риском нежелательных лекарственных реакций, позволяющий выявлять препараты, назначенные без показаний, с наличием противопоказаний, либо назначенных с недостаточным научным обоснованием. Разработана модель проверки соответствия назначенной лекарственной терапии стандартам оказания медицинской помощи. Разработаны алгоритмы мониторинга нежелательных лекарственных реакций (НЛР), механизмы формирования отчетов по НЛР, разработаны методы анализа безопасности и эффективности лекарственной терапии. Разработаны алгоритмы автоматизации клинко-фармакологических технологий персонализации лекарственной терапии (проверка списка назначенных лекарственных средств на межлекарственные взаимодействия, полипрагмазию, на возможность проведения фармакогенетического тестирования, а также информирование о необходимости коррекции дозы лекарственных средств при нарушении функции почек). Реализован прототип системы ЭЛН. В этот прототип внедрены алгоритмы проведения ABC-VEN-анализа, представляющего собой анализ целесообразности затрат на закупки ЛС и позволяющего выявить наиболее приоритетные ЛС, которые предлагается закупить в первую очередь, а также выявить нерациональные затраты на закупки второстепенных ЛС.

В рамках проекта «Разработка пациент – ориентированной интеллектуальной системы информационных технологий управления лечебно-диагностическими процессами в медицинском учреждении (на примере клиники нейрохирургического профиля)» был проведен анализ современного состояния зарубежных исследований по повышению эффективности систем маршрутизации больных. Разработаны принципы и механизмы использования действующей в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н.Бурденко (далее – ИНХ) электронной медицинской карты (ЭМК) для сбора детальной информации о маршрутах пациентов в реальном времени. В результате ЭМК была дополнена новым структурным блоком – Подсистемой маршрутизации. С помощью Подсистемы маршрутизации были получены статистические характеристики потоков больных и особенностей функционирования основных лечебных подразделений ИНХ, а также методы представления этих данных в наглядном и удобном для анализа виде. На базе данных о функционировании приемного отделения и их анализа с помощью метода КМЭ

были выявлены причины многочасовых очередей, возникающих при госпитализации больных, и разработаны рекомендации по их устранению. Методами теории массового обслуживания был проведен расчет увеличения пропускной способности приемного и хирургических отделений при введении дополнительных ресурсов.

По данным Подсистемы маршрутизации проведен анализ эффективности использования коечного фонда в хирургических отделениях. Для выявления факторов, влияющих на время ожидания операции, для каждого хирургического отделения был построен его «профиль» – дискретное распределение больных по дням ожидания операции. Анализ этой информации с помощью метода КМЭ показал, что хотя время ожидания операции во многом определяется медицинской специализацией отделений, его можно уменьшить за счет улучшения оперативного планирования процесса госпитализации. С помощью Подсистемы маршрутизации проанализирована загрузка операционного блока и сделан вывод, что именно операционный блок является узким местом лечебного процесса. Проанализированы резервы увеличения его пропускной способности за счет перехода на двусменную работу при разных вариантах времени начала последней операции.

Разработаны модели управляемых систем массового обслуживания для долгосрочного и среднесрочного планирования работы ИНХ с точки зрения эффективности дополнительных затрат на разные виды медицинских ресурсов (коечного фонда, операционных, медицинского персонала).

В рамках проекта «Система автоматизированного лексического контроля медицинских записей» были получены следующие результаты:

1. Созданы механизмы загрузки данных из текстового документа в виде, пригодном для пословного разбора, что позволяет осуществлять загрузку документов, поступающих из любых МИС.

2. Созданы механизмы пословного разбора текстовой информации, поступающей из электронной медицинской карты (ЭМК), что позволяет осуществлять первичную обработку документов, поступающих из любых МИС.

3. Созданы механизмы и структуры данных в СУБД для сохранения результатов пословного разбора текстовой информации, поступающей из ЭМК, что позволяет осуществлять первичное формирование словарей медицинской и немедицинской лексики.

4. Создан сервис структурного и лексического анализа.

5. Создан сервис формирования реестра типовых элементов документа.

6. Создан интерфейс для первичной обработки данных в словарях медицинской и немедицинской лексики, что позволяет производить экспертную обработку содержимого соответствующих словарей.

7. Создан словарь медицинской лексики на основе анализа 200 000 документов.

8. Построены модели интерфейса для экспертной обработки данных в словарях медицинской лексики.

9. Построены модели интерфейса для формирования подмножеств в словарях медицинской лексики.

10. Определены фундаментальные критерии оценки количественного содержания медицинской информации в текстовом документе, поступающем в СУБД.

11. Построены модели алгоритмов вычисления критериев оценки количественного содержания медицинской информации в текстовом документе, поступающем в СУБД.

12. Определены фундаментальные критерии оценки содержащейся в документе медицинской информации по степени уникальности.

13. Построены модели алгоритмов вычисления критериев оценки содержащейся в документе медицинской информации по степени уникальности.

14. Определены фундаментальные критерии оценки документа по структуре в соответствии с заявленным типом.

15. Разработаны алгоритмы семантического анализа на основе критериев оценки документа по структуре в соответствии с заявленным типом.

16. Определены фундаментальные критерии оценки содержащейся в документе медицинской информации по степени соответствия заявленному типу.

17. Разработаны алгоритмы семантического анализа на основе критериев оценки содержащейся в документе медицинской информации по степени соответствия заявленному типу.

18. Построено ядро семантического анализа на основе описанных выше двух групп алгоритмов

19. Создан интерфейс для экспертной и аналитической работы с использованием алгоритмов семантического анализа.

В рамках проекта «Создание системы структурированных описаний и заключений по результатам компьютерной томографии КТ» Составлен словарь стандартных рентгенологических терминов (тезаурус), являющийся терминологической базой для формирования структурированных протоколов. Словарь сформирован с учетом критического анализа единственного зарубежного аналога – лексикона RadLex – и дополнен справочными материалами по нормативным числовым значениям. В 2015 году тезаурус был полностью переведен в интерактивный формат. Сформирована библиотека шаблонов структурированных заключений компьютерной томографии. Библиотека включает «базовые» шаблоны для всех областей исследования (для нормальной рентгенологической картины, распространенных вариантов анатомии и отклонений, не требующих детального описания), а также специализированные шаблоны для отдельных нозологических форм (например, для стадирования опухолей). Разработана радиологическая информационная система для создания структурированных диагностических заключений MultiProtocol Structured. В 2015 году все запланированные шаблоны структурированных протоколов были интегрированы в данную информационную систему, проведено их тестирование и редактирование. Система MultiProtocol Structured используется в ежедневной работе Центра лучевой диагностики ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» МЗ РФ, наибольшую эффективность показала при описании объемных образований. Подготовлено к печати справочно-методическое пособие. Пособие включает методические рекомендации по созданию структурированных заключений КТ (на основе обзора последних мировых публикаций по данному вопросу), а также наиболее востребованные шаблоны структурированных заключений для каждой области исследования.

В рамках проекта «Прогнозирование и управление лечебно-диагностическим процессом с помощью прецедентной модели процесса - технологической карты, реализуемой в классе марковских управляемых процессов» были получены следующие результаты:

1. Рассмотрены проблемы математического моделирования лечебно-диагностического процесса. Предложен прецедентный подход к построению модели процесса в классе управляемых стохастических процессов с памятью. Модель основывается на двух постулатах: а) моделирование в классе стохастических процессов, как наиболее адекватно соответствующих сложности человеческого организма, как объекта управления; б) прецедентный характер управления в медицине, отражающий консервативный характер принятия решений в ЛДП, когда активные действия (управление) зачастую выбираются на основе уже известных прецедентов, доказавших свою эффективность в статистическом смысле (доказательная медицина). Концептуальная основа модели имеет ясную содержательную интерпретацию для специалистов-медиков. Предложена унифицированная модель ЛДП инвариантная относительно класса заболевания.

2. Разработана методология моделирования лечебно-диагностического процесса в классе управляемых стохастических процессов с памятью, содержащая в себе несколько этапов: нормализация данных на основе нормативных базисов нормализации, темперирование ансамбля реализаций ЛДП относительно выбранной для моделирования временной шкалы, генерализация состояний процесса путем проектирования состояний в классы эквивалентности, построение Марковской модели переходов процесса из состояния в состояние. Разработанная методология позволяет проводить моделирование лечебно-диагностических процессов в рамках выбранного класса моделей.

3. Предложена концептуальная модель технологической карты. Технологическая карта строится на основе сети обобщенных состояний, связанных переходами из состояния в состояние. Состояния упорядочены относительно оси времени, задающей направление и длительность ЛДП. В сети имеются начальные и конечные терминальные состояния, соответствующие началу и завершению ЛДП. Технологическая карта по отдельной нозологии покрывает собой целый ансамбль ЛДП достаточной мощности.

4. Было выполнено моделирование 7 распространенных нозологий на реальных представительных клинических данных мощности 10^3 - 10^4 процессов. Полученные при моделировании результаты показали состоятельность и практическую перспективность предложенного подхода.

В рамках проекта «Создание дата-центра для массового хранения энцефалограмм и их интеллектуального анализа на основе прецедентов» были получены следующие результаты:

1. Создан облачный вычислительно-информационный ресурс MathBrain (www.mathbrain.ru login: demo password: demo). Ресурс организован по принципу «приложение как сервис» (SaaS) и включает следующие функции для анализа многоканальных энцефалограмм: прямое и обратное преобразование Фурье, метод независимых компонент, преобразование Карунена-Лоэва, количественный анализ магнито- и электроэнцефалограмм, решение обратной задачи магнитной энцефалографии и его представление на магниторезонансной томограмме.

2. Разработан новый метод функциональной томографии, вычисляющий пространственное распределение энергии источников активности головного мозга по данным магнитной энцефалографии. Метод позволяет изучать спонтанную активность головного мозга в различных состояниях. Получены и обработаны экспериментальные данные по магнитной энцефалографии и электроэнцефалографии, а также магниторезонансные томограммы.

3. Предложен новый метод анализа многоканальных временных рядов, основанный на точном преобразовании Фурье и анализе когерентности отдельных частотных компонент. Метод позволяет определять положение и временные зависимости электромагнитных источников спонтанной и вызванной активности головного мозга.

4. Предложена методика нахождения опорных точек для выделения сигнала усреднением на фоне шумов большой амплитуды без использования внешней информации о моментах его возникновения. В качестве признаков сигнала используются собственные функции Карунена-Лоэва. Методика позволяет выделять сигнал из экспериментальных данных как с вызванной, так и спонтанной активностью.

Заключение

Результаты, полученные в ходе выполнения программы **«Информационные технологии для клинической медицины (Е-здравоохранение)»**, привели к развитию актуальных и созданию новых направлений в медицинской информатике. Так, например, с 2016 года группа исследователей ФИЦ ИУ РАН уже начала разработку методов анализа отклонений процессов лечения пациентов от принятого плана лечения.

Кроме результатов теоретического характера, которые опубликованы в соответствующих изданиях, разработанные в ходе выполнения проектов методы легли в основу прикладных систем. В качестве примера можно привести программу для удаленной оценки состояния пациентов младенческого и юношеского возраста и контроля качества заполнения эпикризов врачами разрабатываемой в Научном центре здоровья детей, систему автоматической формализации клинических руководств (САКРАЛ), разрабатываемой в Медицинском центре Банка России.