

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЭТАПОВ РИСК-АНАЛИЗА В СППР С УЧЕТОМ ОЦЕНОК КЛИНИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ БРОНХОЛЕГОЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Н. И. ЮСУПОВА, О. С. НУРГАЯНОВА, Р. Х. ЗУЛКАРНЕЕВ

Аннотация. В статье анализируется проблема идентификации, оценки и управления рисками в медицине на примере получения качественных и количественных оценок рисков при бронхолегочных заболеваниях. Показаны актуальность и общесистемные проблемы управления рисками в медицине. Исследуются методы выявления рисков (формирование реестра рисков), получения их количественных и качественных оценок, а также рассматриваются методы прогнозирования рисков при бронхолегочных заболеваниях. Приводится классификация рисков при бронхолегочных заболеваниях (в реестр рисков выделены риск обострения хронических заболеваний, риск возникновения острых заболеваний, риск выхода на инвалидность, риск летального исхода после перенесенного бронхолегочного заболевания). Анализируются факторы, способствующие возникновению и эскалации выделенных видов рисков, что в совокупности является предпосылками разработки системы поддержки принятия решений (СППР), которая может оказаться полезной как для практикующих врачей, так и для студентов-медиков. Для каждого из этапов риск-анализа приводятся модели и методы анализа рисков бронхолегочных заболеваний и получения качественных и количественных оценок. На основе методов системного моделирования предлагается модульная структура СППР для анализа и оценки рисков при бронхолегочных заболеваниях, приводится формализация этапов риск-анализа для последующей разработки прототипов программного обеспечения отдельных модулей СППР. В заключении статьи приводятся результаты решения некоторых задач оценки рисков при бронхолегочных заболеваниях – применение модели Каплана-Майера для оценки продолжительности жизни при изучении эффективности методов лечения бронхиальной астмы, а также предлагается алгоритм формирования наилучшей стратегии лечения бронхиальной астмы с определенным уровнем риска.

Ключевые слова: управление рисками в медицине; методы анализа рисков бронхолегочных заболеваний; методы управления рисками бронхолегочных заболеваний; СППР при управлении рисками бронхолегочных заболеваний; модель Каплана–Майера для оценки продолжительности жизни при изучении эффективности методов лечения бронхиальной астмы.

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе, несмотря на развитие новых технологий, цифровизации и телемедицины, проблема поддержки принятия решений при бронхолегочных заболеваниях по сей день остается актуальной. В литературе [1–3] много внимания уделено использованию информационных технологий в медицине. Один из путей решения – это разработки СППР с учетом возможностей современных методов и технологий для анализа и оценки рисков, связанных с бронхолегочными заболеваниями. Данная статья посвящена формализации этапов риск-анализа в контексте проектирования СППР. В первом разделе приводится анализ проблемы и формулируется постановка задачи построения СППР, во втором приводится обзор и анализ известных подходов анализа и оценки рисков при бронхолегочных заболеваниях, предлагается концептуальная модель СППР при анализе и оценке рисков, связанных с бронхолегочными заболеваниями, а также подробно рассматриваются этапы риск-анализа. Заключительная часть второго раздела посвящена выбору моделей, методов и алгоритмов, предназначенных для решения задач риск-анализа. В третьем разделе показываются примеры решения некоторых задач оценки рисков.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Несмотря на достаточное пристальное внимание проблеме оценки рисков [2, 4], особенность ее заключается в том, что со стороны медицинских работников управление рисками в здравоохранении в большей степени заключается в их идентификации и выявлении, тогда как важным является их качественная и количественная оценка [2]. Этот вопрос может быть успешно решен с помощью создания СППР. В процессе анализа и разработки СППР для медицины разработчики сталкиваются с целым рядом принципиальных концептуальных барьеров [3]:

- колоссальный объем накопленных медицинских знаний;
- постоянное обновление медицинских знаний и технологий;
- отсутствие подготовленных источников клинических данных;
- недостаточная формализация и стандартизация медицинских данных;
- недостаточное обоснование и понимание метода получения, рекомендуемого машиной решения [3].

Барьером на пути широкого практического применения современных методов анализа больших данных в российской медицине является отсутствие доступных для исследователей больших банков клинических данных.

Для представления в компьютерной среде медицинские знания должны быть формализованы [5, 6]. В [7] предлагалось разделять медицинские знания на научные и эмпирические, или явные и неявные в нашей терминологии. Отмечается, что модели, основанные на медицинских научных знаниях, имеют обобщенный и ограниченный характер, а эмпирические знания могут быть недостаточно репрезентативны и неадекватны популяции в целом.

В данной статье авторы ставят перед собой задачи разработки структуры СППР для оценки рисков при бронхолегочных заболеваниях, а также выбора моделей и методов анализа и оценки рисков для реализации их в отдельных подсистемах и модулях СППР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ известных подходов к оценке рисков

В настоящее время известно [8] порядка 28 медицинских СППР, которые принято классифицировать следующим образом:

- помощь в лечении, включая подбор и контроль терапии;
- помощь в мониторинге пациентов, в том числе в удаленном режиме;
- анализ данных носимых устройств и оборудования с целью поддержки принятия решений [8].

Разбор систем различного медицинского назначения [9] и их функциональности показал, что в них не предусмотрены модули анализа и оценки рисков заболеваний. Таким образом, несмотря на внимание к этой проблеме со стороны медицинского сообщества, известных программных решений до сих пор нет [8].

Проблеме предупреждения осложнений и возникновения рисков посвящено достаточное количество исследований, однако ее сложность и многофакторность до сих пор оставляют широкий круг неосвященных вопросов. Рассмотрим методы анализа и оценки рисков на примере одного из заболеваний – бронхиальной астмы.

К развитию бронхиальной астмы приводит ряд факторов, например, курение, избыточный вес, неблагоприятная экологическая обстановка и т. д. В зависимости от их совокупности бронхиальная астма может не сразу диагностироваться или вызывать обострение сопутствующих заболеваний.

В работе [10] выделены две группы факторов развития бронхиальной астмы (таблица 1):

Оценку рисков можно проводить внутри определенной группы пациентов, для разделения используя классический подход, который предполагает деление всех наблюдаемых пациентов в возрасте от 3 лет на три группы – младшая, средняя, старшая (возрастная).

Таблица 1

Факторы развития бронхиальной астмы

Внутренние факторы	Внешние факторы
1) наследственность; 2) избыточный вес; 3) заболевания органов дыхания (хронический бронхит, трахеит, пневмония); 4) несбалансированное питание; 5) крайнее эмоциональное возбуждение; 6) физические упражнения.	1) бытовые, моющие средства; 2) экологические; 3) профессиональные; 4) микроорганизмы; 5) холодный воздух; 6) некоторые лекарственные препараты.

Риски, которые рассматриваются в [1] – это «риски процесса», которые авторы классифицировали как «априорные риски к процессу лечения», «риски непосредственно процесса лечения» и «апостериорные риски», связанные с постлечебным вмешательством.

Таблица 2

Классификация рисков

Априорные риски	Риски процесса лечения	Апостериорные риски
<ul style="list-style-type: none"> Риски ошибок первичной диагностики. Диагностический риск может возникнуть из-за совершения врачебной ошибки, которая могла быть допущена по: <ol style="list-style-type: none"> объективным причинам (несовершенство медицинского оборудования, отсутствие необходимых условий и др.); субъективным причинам (недостаточность квалификации медицинского персонала, незнание, нежелание, нарушение врачебной этики и др.) [15]. Риск отложенного лечения. Из-за несвоевременного диагностирования заболевания пациента может возникнуть риск отложенного лечения. Риски, связанные с наличием синдромов бронхолегочных заболеваний т.д. Риски, связанные с наличием клинических синдромов, например, сахарного диабета. 	<ul style="list-style-type: none"> Риск обострения заболевания, вызванного внутренними и/или внешними факторами. Риск выхода из-под контроля течения заболевания. К выходу из-под контроля течения заболевания может привести следующая совокупность факторов [1]: <ol style="list-style-type: none"> недостаточный уровень знаний в области клинического прогнозирования; неумение проводить анализ и оценивать эффективность различных технологий лечения; неверный выбор способа лечения; недооценка риска возможных побочных эффектов и осложнений лечения; неумение провести анализ промежуточных и конечных результатов лечения. Риск несовместимости лекарственных средств (нежелательное лекарственное взаимодействие). Риск аллергических реакций на лекарственный аппарат. Риск врачебной ошибки, приведший к летальному исходу. 	<ul style="list-style-type: none"> Риск снижения качества жизни. Риск выбора неэффективной методики лечения. Риск неудовлетворительности пациента лечением. Риск недожития пациента.

В отдельную группу авторы [1] выделили индивидуальные риски пациентов, связанные с курением, употреблением алкоголя, гиподинамией, наркоманией, ожирением, стрессом, с наличием клинических и бронхолегочных синдромов.

В таблице 3 приведен один из видов классификации бронхолегочных рисков, связанных с процессом лечения [1].

Все указанные риски являются индивидуальными. В качестве мер риска рассматриваются как количественные, так и качественные показатели: это вероятности появления опасного состояния, оценки по шкалам и интегральные оценки риска [1].

Таблица 3

Классификация бронхолегочных рисков

Априорные риски	Риски процесса лечения	Апостериорные риски
Риски ошибок первичной диагностики	Риск обострения бронхолегочного заболевания	Риск снижения качества жизни
Риск отложенного лечения (задержки начала лечения)	Риск выхода из-под контроля течения заболевания (неустойчивость)	Риск выбора неэффективной методики лечения
Риск срочной госпитализации	Риск несовместимости лекарственных средств (нежелательное лекарственное взаимодействие)	Риск неудовлетворенности пациента лечением
Риски, связанные с бронхолегочными синдромами	Риск аллергических реакций на лекарственный препарат	Риск недожития
Риски, связанные с клиническими синдромами	Риск побочного действия лечения в летальном исходе	Риск выхода на инвалидность

Проведенный анализ рисков при бронхолегочных заболеваниях и их классификация на качественном уровне позволяет ставить вопрос об их количественной оценке.

Предлагаемая структура СППР

СППР в общем случае представляют собой интерактивные автоматизированные системы, помогающие пользователю (ЛПР – лицу, принимающему решение) использовать данные и модели для идентификации и решения задач принятия решений. Структурно СППР состоит из трех базовых элементов:

- 1) база данных (или знаний);
- 2) концептуальная модель предметной области (база моделей и база правил);
- 3) интерфейс пользователя.

В типовую структуру СППР для анализа и оценки рисков развития осложнений бронхолегочных заболеваний приведенную на рисунке 1 предлагается добавить подмодули интеллектуального анализа всех трех групп рисков (табл. 3).

СППР для анализа и оценки рисков, связанных с бронхолегочными заболеваниями, имеет следующие модули:

1) Модуль «Статистический анализ данных». Назначение модуля – накопление и обработка информации для проведения медико-статистического анализа данных при бронхолегочных заболеваниях. Целью процедур, реализуемых в данном модуле, являются:

- формирование профилей бронхолегочных больных трех возрастных групп. Профили содержат для каждой группы выявленные возрастные заболевания, оценки вероятностей наличия клинических и бронхолегочных синдромов, риски возрастных групп, связанные с лечением, качеством жизни, проблемой недожития;
- оценка наиболее значимых факторов, влияющих на продолжительность и качество жизни бронхолегочных больных;
- формирование индивидуального профиля пациента и привязка его карты риска;
- прогнозирование показателей, связанных с лечебно-профилактической деятельностью.

Входной информацией данного модуля являются официальная статистика и нормативные показатели. Выходной – результаты статистического анализа клинических, бронхолегочных исследований.

2) Модуль «Анализ рисков». Назначение: исследование и решение проблем управления индивидуальными и групповыми рисками при бронхолегочных заболеваниях. Модуль включает в себя процедуры:

- идентификации рисков;
- оценки индивидуальных и групповых рисков;
- управления рисками.

Входной информацией для этого модуля являются результаты статистического анализа, выходной – данные для построения индивидуальных и групповых карт рисков, оценки групповых рисков и рекомендации по управлению рисками.

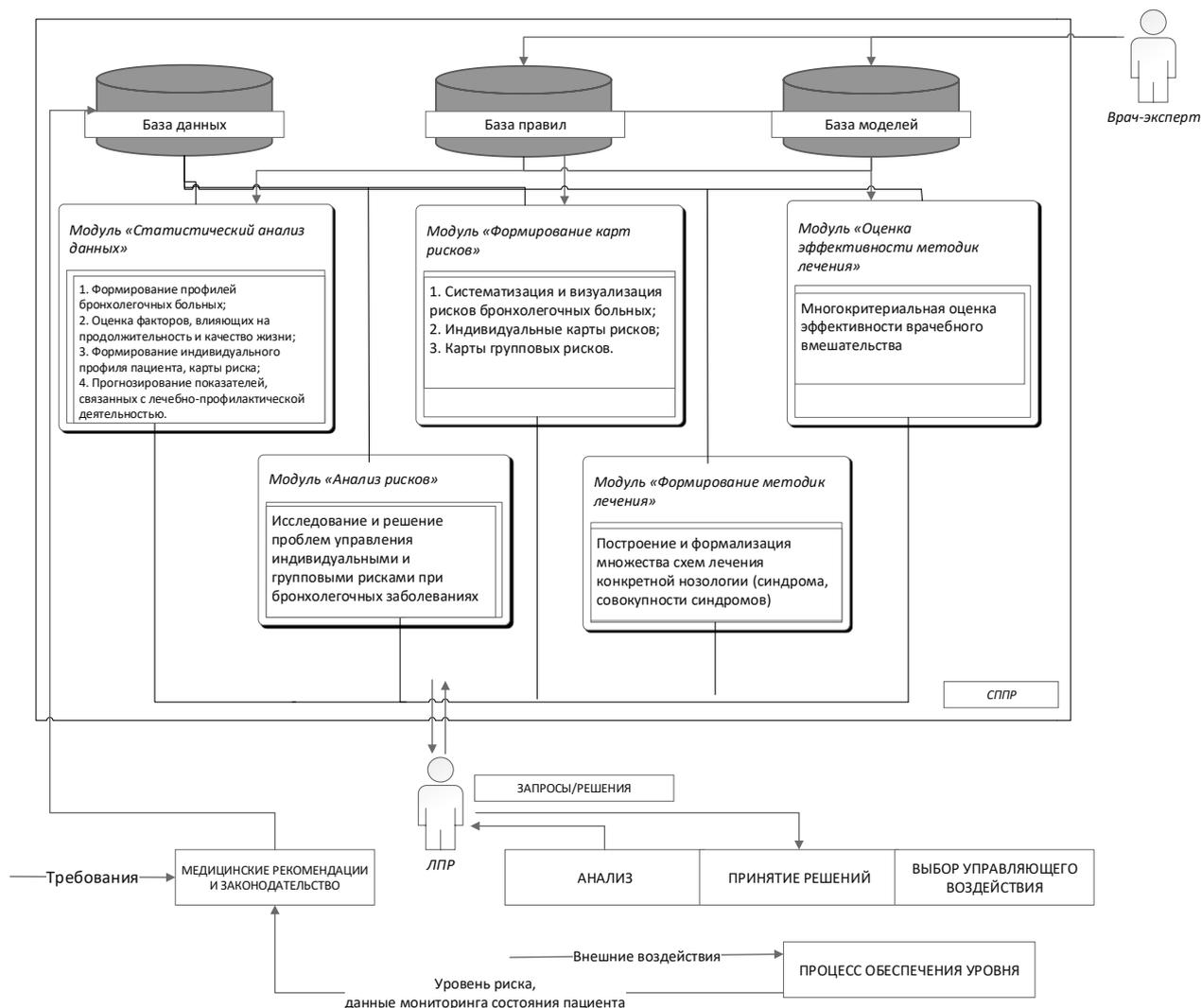


Рис. 1 Предлагаемая структура подсистемы ППР для анализа и оценки рисков развития осложнений бронхолегочных заболеваний

3) Модуль «Формирование карт рисков». Назначение: модуль предназначен для систематизации и визуализации как индивидуальных, так и групповых рисков бронхолегочных больных.

- индивидуальные карты рисков представляют собой визуализацию значимых качественных и количественных характеристик рисков бронхолегочного больного, например, степень

тяжести проявления бронхолегочного синдрома, вероятность проявления исследуемого негативного события;

- карты групповых рисков связаны с анализом и визуализацией значимости рисков пожилых людей, участвующих в исследовании, внешней статистикой и результатами моделирования.

Входной информацией этого модуля являются результаты анализа рисков, выходной – карты индивидуальных и групповых рисков, а также таблицы данных об оценке рисков пациента.

4) Модуль «Формирование методик лечения». Проблема формализации и выбора методики лечения для групп или отдельного бронхолегочного больного основывается на Методическом руководстве «Принципы выбора терапии для больных легкой бронхиальной астмой. Согласованные рекомендации РААКИ и РРО», включающим, в частности:

- вопросы полипрагмазии (одновременном нередко необоснованном назначении множества лекарственных средств или лечебных процедур), методы ее профилактики и коррекции;
- алгоритмы ведения пациентов;
- вопросы эффективности применения некоторых лекарственных препаратов у пациентов различных групп;
- потенциально опасные эффекты приема лекарственных средств у пациентов различных групп;
- мониторируемые показатели и частота их определения при приеме
- лекарственных препаратов лицами пожилого возраста.

Формализация методики лечения связана как с медикаментозным лечением, так и с физиотерапевтическим, консультациями, уходом и др., поэтому на основании клинических рекомендаций и стандартов в этом модуле входной информацией будут являться оценки рисков бронхолегочных больных, выходной – возможные схемы лечения и профилактические мероприятия.

В рамках данного модуля находится подмодуль «Формирование индивидуальной методики лечения», позволяющий выбрать лучший для пациента набора лечебно-профилактических процедур. Для выбора методики определенного класса бронхолегочных больных рассмотрен подход, использующий алгоритмы на графах и/или нейросетевой подход. Индивидуально для каждого больного, с учетом анализа рисков выбирается лучшая из представленных методик. В качестве входной информации используется рейтинг методик для конкретного пациента и карта рисков. Выходной информацией будут являться индивидуальный профиль бронхолегочного больного и назначения индивидуальных лечебно-профилактических мероприятий.

5) Модуль «Оценка эффективности методик лечения». Назначение: многокритериальная оценка эффективности врачебного вмешательства. При анализе эффективности лечебных, профилактических мероприятий учитывались как динамика показателей деятельности основных системы организма, так и степень удовлетворенности пациентов лечением и достигнутый уровень качества жизни.

Входная информация для данного модуля – изменение клинических и бронхолегочных показателей в ходе лечения, длительность и стоимость лечения результаты анкетирования. Выходная информация – рейтинг методик лечения.

При этом соответствующие модули должны иметь доступ к базе клинических данных, к базе правил и процедур и базе моделей.

Для понимания взаимосвязей клинических данных и формализации медицинских знаний необходимо тесное сотрудничество разработчиков СППР и практикующих врачей-экспертов. Для формирования базы правил и базы моделей требуется задействовать их опыт лечения больных с бронхолегочными заболеваниями, а также медицинские клинические рекомендации и соответствующие протоколы лечения.

Разъяснительная работа по интерпретации медицинских клинических рекомендаций, протоколов лечения, результатов различных диагностических устройств и анализов позволит сформировать хранилище и базу данных параметров, которые в дальнейшем будут использоваться при оценке различных групп рисков при бронхолегочных заболеваниях

Предусматривая в СППР также модули предварительной обработки и статистического анализа данных, модули формирования карт рисков и методик лечения, а также используя современные математические методы анализа и оценки рисков в результате можно получить хорошее практическое решение.

Формализация риск-анализа на основе системного моделирования

На различных этапах управления рисками при бронхолегочных заболеваниях могут быть использованы различные модели и методы. Проектируемая подсистема решает задачи, связанные с обработкой результатов комплексного исследования бронхолегочного больного, оценкой индивидуальных и групповых рисков, выбором эффективной методики лечения и профилактики. Функциональная модель СППР для анализа и оценки рисков бронхолегочных больных представлена в нотации IDEF0 на рисунке 2.

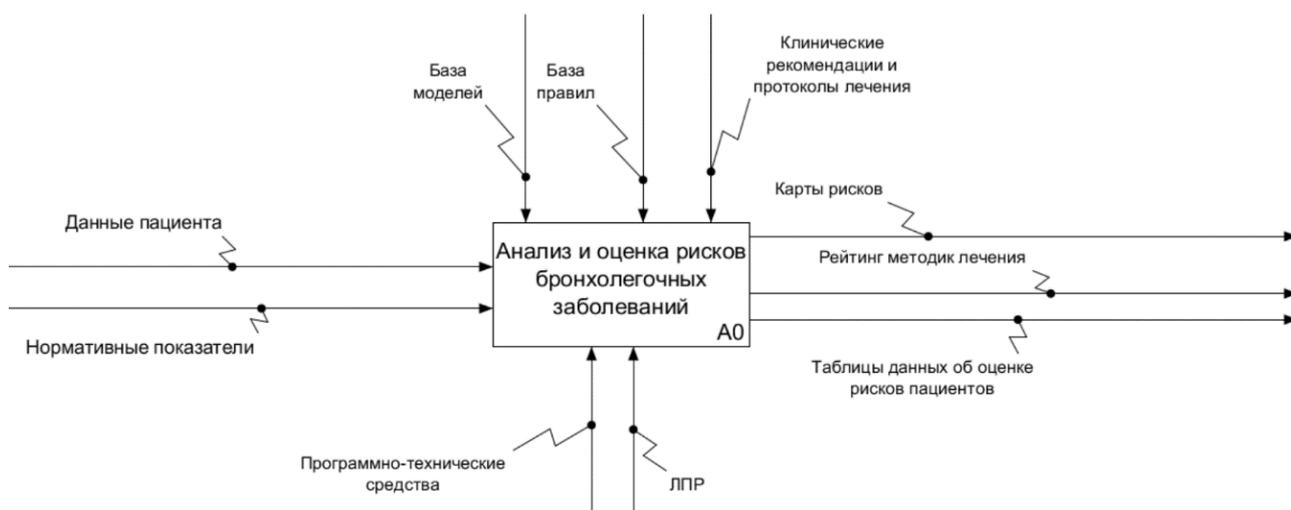


Рис. 2 Функциональная модель СППР для анализа и оценки рисков бронхолегочных больных

На вход системы подаются данные пациента и нормативные показатели здоровья, которые преобразуются посредством соответствующих моделей и правил в результаты работы системы, а именно – карты групповых и индивидуальных рисков, рейтинг групповых и индивидуальных методик лечения, таблицы данных об оценке рисков пациентов.

Анализ и оценка бронхолегочных рисков состоит из этапов, которые представлены в виде декомпозиции контекстной диаграммы A0 (рис. 3), при этом в блоках A3 и A4 формируются групповые и индивидуальные карты рисков и соответственно – групповые и индивидуальные методики лечения.

Непосредственно для анализа рисков при бронхолегочных заболеваниях и получения количественных оценок используется данные, полученные в результате предварительной обработки групповых данных на предыдущем этапе – блок A1 «Статистический анализ данных о пациентах». Результаты этапа «Анализ рисков» (блок A2) используются в качестве входной информации на следующих двух (блок A3 – «Формирование карт рисков» служит для визуализации информации, полученной на этапе анализа рисков, и блок A4 – «Формирование методик лечения» позволяет ранжировать методики лечения с учетом количественных мер риска).

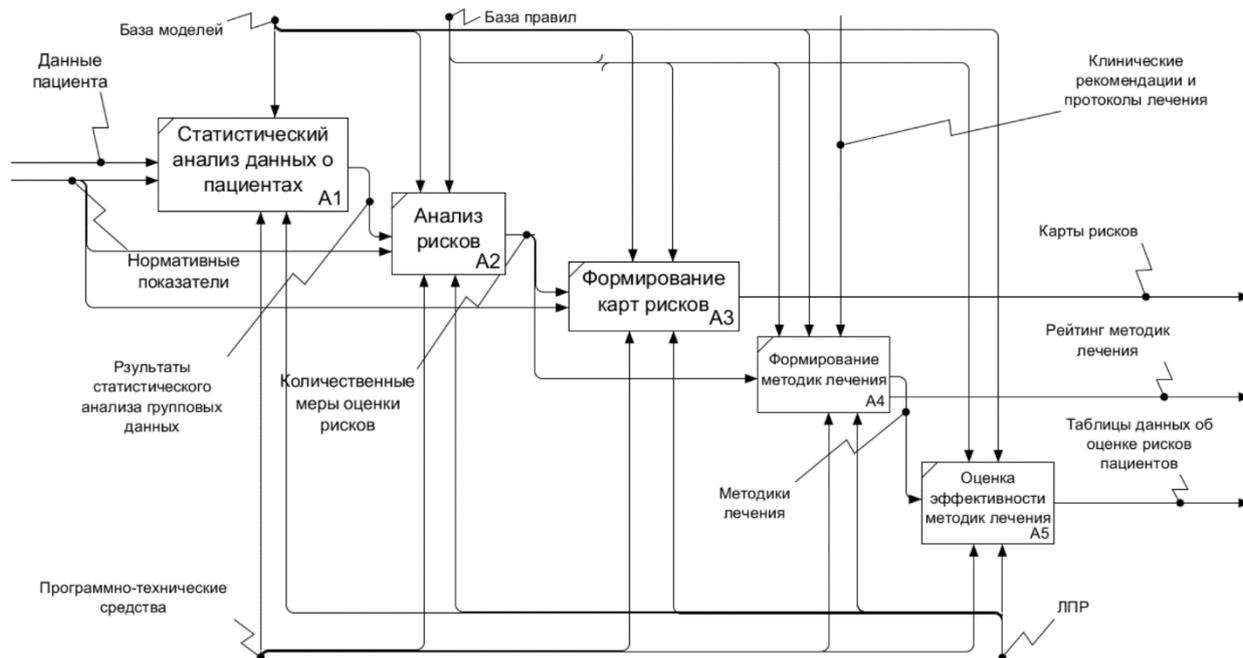


Рис. 3 Этапы риск-анализа в СППР

Формализация этапов является основанием для разработки прототипов программного обеспечения СППР для анализа и оценки рисков бронхолегочных больных.

Пользователями программного продукта могут быть студенты, выпускники медицинских вузов, медики, молодые врачи, врачи поликлинической и стационарной помощи различной специфики. Установка на их рабочих местах системы позволит достичь высокого уровня автоматизации процессов накопления, обработки и хранения информации о пациентах различных возрастных групп, страдающих бронхолегочными заболеваниями.

Актуализация базы разрабатываемой системы может производиться на основе постоянно обновляемой информации, поступающей в соответствии с электронно-административными регламентами из других информационных систем. В дальнейшем при разработке информационной системы возможна реализация взаимодействия с другими внешними системами.

Выбор моделей и методов анализа рисков

В контексте реализации каждого этапа оценки и анализа рисков бронхолегочных заболеваний можно использовать следующие известные модели и методы (таблица 4).

Для идентификации рисков можно воспользоваться несколькими известными подходами, в частности, например, метод анкетирования – вербально-коммуникативный метод, используемый в комплексном бронхолегочном подходе, позволяют определить источники рисков и уровни рисков проявления бронхолегочных синдромов. Данный метод опроса используется для формирования статистических данных и индивидуальных показателей состояния здоровья пациента с целью формирования набора лечебно-профилактических процедур.

На этапе «Статистический анализ данных о пациентах» формируются профили трех групп пациентов.

На этапах «Анализ рисков» и «Формирование карт рисков» проводится комплексная оценка бронхолегочных больных, для идентификации и анализа групповых рисков в случае наличия неполной исходной информации можно воспользоваться нечеткими когнитивными

картами. Для решения задачи оценки группового риска при бронхолегочных заболеваниях используется модификация [11, 12] метода ROC-анализа, которая позволяет классифицировать пациентов по трем группам риска, например, по значимости риска проявления нездоровья пациентов, или уровня «хрупкости» пациентов

Таблица 4

Основные этапы, модели и методы анализа бронхолегочных рисков

Этапы анализа рисков	Задачи, возникающие на различных этапах анализа бронхолегочных рисков	Модели и методы анализа бронхолегочных рисков
Блок А1	Оценка бронхолегочных синдромов	Модели, используемые при работе бронхолегочных калькуляторов
	Формирование профилей трех групп пациентов	Методы статистического анализа
	Задача выявления возрастных заболеваний	Методы статистического анализа
	Формирование индивидуального профиля пациента	Логико-вероятностный метод.
Блок А2	Оценка индивидуального риска	Логистическая регрессия, логико-вероятностный метод
	Оценка группового риска	ROC-анализ, методы кластеризации
	Оценка рисков (обострения хронических заболеваний, риск возникновения острых заболеваний, риск выхода на инвалидность, летальные исходы)	Модель Кокса, модель Каплана–Майера
Блок А3	Визуализация рисков	Нечеткие когнитивные карты
Блок А4	Выбор индивидуальной схемы лечения	Нейросетевое моделирование
Блок А5	Оценка методик лечения, определение оптимальной методики для группы пациентов	Дискретные марковские процессы
	Оценка эффективности методик лечения	Метод Promethee

Для оценки группового и индивидуального рисков, формирования индивидуального профиля пациента и составления карт риска подходят логико-вероятностный метод и логистическая регрессия.

Для формирования оптимальной стратегии лечения группы пациентов с определенным уровнем риска [13] может быть использована модель дискретных марковских процессов с доходностями. Применение данного метода целесообразно в тех случаях, когда болезнь можно разделить на ряд последовательных фаз (стадий или степеней). Выбранная модель допускает, что пациент находится всегда в одном состоянии здоровья (из конечного количества состояний), которые называют состояниями Маркова; с течением времени возможен переход из одного состояния в другое с известной вероятностью и значением показателя «затраты – эффективность». В основе выбора оптимальной методики лечения лежит метод «затраты – эффективность» клинко-экономического анализа, принципами которого являются: сравнимость, комплексность, всеобъемлемость, воспроизводимость и точность [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ БРОНХОЛЕГОЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Применение модели Каплана–Майера для оценки продолжительности жизни при изучении эффективности методов лечения бронхиальной астмы

Для оценки вероятности недожития пациентов с заболеваниями легких предлагается использовать модель Каплана–Майера.

В клинической практике на сегодняшний день модель Каплана–Майера представляет наиболее распространенный метод анализа выживаемости для описания цензурированных наблюдений (цензурированные наблюдения – это наблюдения, когда интересующая зависимая переменная представляет момент наступления терминального события, а длительность исследования ограничена по времени).

Метод позволяет оценить долю пациентов, у которых не произошло терминальное событие, и оценить вероятность отсутствия события (остаться в живых) к определенному моменту времени от начала наблюдения. Такую вероятность называют выживаемостью, а функцию зависимости выживаемости от времени – функцией выживаемости [2].

$$\hat{S}(t) = \prod_{i=0}^T \frac{R_i - d_i}{R_i},$$

где T — количество пациентов в датасете; R_i — количество пациентов, доживших до момента t ; d_i — количество пациентов, не доживших до момента t .

Для проведения вычислительного эксперимента брались данные нескольких пациентов, относящихся к одной группе, и в имеющихся граничных пределах показателей этих пациентов генерировалась выборка, которая составила 1500 экземпляров. На рисунке 4 показана функция выживаемости для конкретного пациента, относящегося к средней возрастной группе.

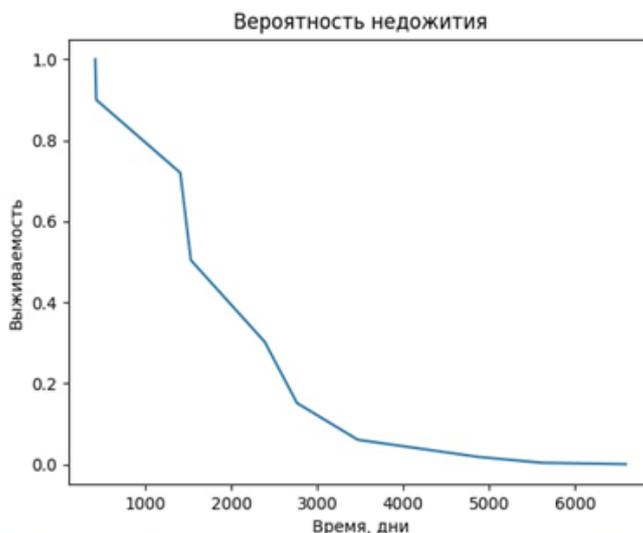


Рис. 4. Результаты вычислительного эксперимента по модели Каплана–Майера

Вычислительный эксперимент показал, что при бронхиальной астме и назначенном лечении при возрасте начала заболевания – 44 года, риск недожития у пациентов, относящихся к средней группе, достаточно мал. Количественная оценка риска, составленная для конкретного пациента с использованием данной модели, говорит о том, что этот пациент проживет еще порядка 10 лет с вероятностью 98%.

Алгоритм формирования наилучшей стратегии лечения бронхиальной астмы с определённым уровнем риска

В задаче поиска наиболее эффективной методики лечения бронхиальной астмы выделены три состояния Маркова ($N = 3$):

- 1) подозрение на бронхиальную астму;
- 2) обострение;

3) ремиссия, то есть временное ослабление или исчезновение признаков астмы. Необходимо отметить, что бронхиальную астму невозможно вылечить окончательно; состояние, к которому необходимо стремиться при лечении, – длительная ремиссия, при которой обострения не отмечаются в течение многих лет.

В качестве стратегий могут быть выделены формы лечения:

- 1) амбулаторное лечение;
- 2) лечение в дневном стационаре;
- 3) лечение в круглосуточном стационаре.

Также в качестве стратегий могут быть рассмотрены методы лечения, то есть некоторые совокупности медицинских вмешательств. Использование препаратов при лечении бронхиальной астмы зависит от состояния больного: одни препараты используются как базисная терапия для предупреждения обострения, другие для облегчения симптомов, третьи при тяжелых обострениях.

Рекуррентный алгоритм позволяет определить лучшую, в среднем, методику лечения для группы с определенным уровнем риска. Переходные доходности из одного состояния в другое, в данной задаче – это оценки эффективности лечения, интегрального показателя, включающего затраты на лечение, субъективные и объективные оценки качества лечения, разницу в оценке качества жизни и др.

Затраты на каждую стратегию k при переходе из состояния i в состояние j (r_q^k) оценены с помощью модели стохастического программирования, целью которой является нахождение оптимальных по стоимости и эффективности совокупностей медицинских вмешательств. Отметим, что q_i^k – ожидаемые затраты при переходе из состояния i и выборе стратегии k , $v_i(n)$ – полные ожидаемые затраты при выборе i стратегии на шаге n .

Вероятности перехода пациента из состояния i в состояние j с помощью стратегии k (p_q^k) найдем на основании статистики методов лечения. В состояние «подозрение на бронхиальную астму» невозможно перейти из стадий ремиссии и обострения, поэтому вероятность перехода в данных случаях равны 0.

За шаг моделирование принят 1 месяц, общее количество шагов равно n . При прохождении выбранного количества шагов моделирования находится решение $d_i(n)$, равное значению оптимальных по стоимости и эффективности совокупностей медицинских вмешательств для каждого из N состояний.

При решении поставленной задачи необходимо следовать алгоритму [3]:

Шаг 1. Вычисление ожидаемых затрат за один переход при выходе из i -го состояния и при выборе стратегии k :

$$q_i^k = \sum_{j=1}^N p_q^k r_q^k, \quad i = 1, \dots, N,$$

где i, j — состояния пациента.

Шаг 2. Нахождение полных ожидаемых затрат за n шагов при оптимальном поведении, если система отправляется из состояния i :

$$v_i(n+1) = \max_k v_i [q_i^k + \sum_{j=1}^N p_{ij}^k v_j(n)], \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Шаг 3. Нахождение решения:

$$d_i(n) = \max v_i [n + 1].$$

При заданных граничных затратах процесса $v_j(0) = 0$.

Таким образом, в ходе решения задачи поиска наиболее эффективной методики лечения бронхиальной астмы выбирается оптимальная по критерию «затраты – эффективность» совокупность медицинских процедур для пациента, находящегося в одном из трех состояний заболевания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача разработки СППР для количественной оценки рисков при различных заболеваниях является актуальной, поскольку несмотря на достаточно широкий спектр СППР в медицине о рисках говорится только в контексте их выявления и качественных оценок.

Формализация этапов является основанием для разработки прототипов программного обеспечения СППР для анализа и оценки рисков бронхолегочных больных, а предлагаемый авторами подход к построению СППР при анализе и оценке рисков бронхолегочных больных может быть обобщен и на другие виды заболеваний, что потребует интеграции и взаимодействия других профильных специалистов для выделения ключевых параметров и составления специализированных баз моделей и правил.

Апробация предложенных методов возможна при наличии банков обезличенных данных пациентов. Решение некоторых задач, как показано выше возможно при использовании доступных датасетов, от корректности которых будут зависеть получаемые результаты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках исследований, при поддержке гранта РФФИ 22-19-00471.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Обзор «Цифровизация здравоохранения» [Электронный ресурс]. URL: tadviser.ru (дата обращения: 01.07.2022) [[Obzor «Tsifrovizatsii zdavookhraneniya» = Review “Digitalization of healthcare” (2022, Jul. 01). [Online], (in Russian). URL: tadviser.ru]]
2. Гусев А. В., Зарубина Т. В. Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации // Врач и информационные технологии. 2017. № 2. [[A. V. Gusev, T.V. Zarubina, “Podderzhka prinyatiya vrachebnykh resheniy v meditsinskikh informatsionnykh sistemakh meditsinskoj organizatsii = Support for making medical decisions in medical information systems of a medical organization” (in Russian). *Vrach i informatsionnyye tekhnologii*, no. 2, 2017.]]
3. Николаева М. А., Агадуллина А. И., Карамова В. В. Классификация и анализ рисков в гериатрии // Региональные перспективы развития экономики здоровья: 1-я Всерос. науч.-практ. конф. (Уфа, 2019): тр. конф. [[M. A. Nikolayeva, A. I. Agadullina, V. V. Karamova (in Russian). In: Proc. 1st Int. Workshop on Regional Prospects for the Development of Health Economics, Ufa, Russia, 2019.]]
4. Дворяткина С. Н., Прокуратова О. Н. Марковские процессы и простейшие модели теории массового обслуживания. М.: ФЛИНТА, 2022. [[S. N. Dvoryatkina, O. N. Prokuratova. *Markovskiye protsessy i prosteyshiy modeli teorii massovogo obsluzhivaniya = Markov Processes and the Simplest Models of Queuing Theory* (in Russian). Moscow: FLINTA, 2022.]]
5. Асмаева А. А., Николаева М. А., Нургалева Р. Ш. Марковские процессы с доходностью в задаче выбора эффективной методики лечения [Электронный ресурс]. URL: top-technologies.ru/ru/article/view?id=34274 (дата обращения: 01.07.2022). [[Asmayeva A. A., Nikolayeva M. A., Nurgaleyeva R. SH. *Markovskiye protsessy s dokhodnost'yu v zadache vybora effektivnoy metodiki lecheniya = Markov processes with profitability in the problem of choosing an effective treatment technique* (2022, Jul. 01). [Online] (in Russian). URL: top-technologies.ru/ru/article/view?id=34274]]
6. Бударова К. В., Шмаков А. Н., Сирота С. И. Возможности ROC-анализа в интенсивной терапии новорожденных. // Здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19, № 6. С. 88–92. [[K. V. Budarova, A. N. Shmakov, S. I. Sirota “Vozmozhnosti ROC-analiza v intensivnoy terapii novorozhdennykh” In: *Zdorov'ye i Obrazovaniye v XXI veke*, vol. 19, no. 6, pp. 88-92, 2017.]]
7. Николаева М. А., Зотова О. Ф., Агадуллина А. И. Модели и методы управления рисками в социально-экономических системах // Управление риском. 2013. № 3. С. 28–34. [[M. A. Nikolayeva, O. F. Zotova, A. I. Agadullina, “Modeli i metody upravleniya riskami v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh = Models and methods of risk management in socio-economic systems” (in Russian). In: *Upravleniye Riskom*, no. 3, pp. 28-34, 2013.]]

8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. [[GOST R ISO/MEK 31010-2011. Menedzhment riska. Metody otsenki riska = Risk Management. Risk Assessment Methods (in Russian).]]

9. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска [[GOST R 58771-2019 Menedzhment riska. Tekhnologii otsenki riska = Risk Management. Risk Assessment Technologies (in Russian).]]

10. Бронхиальная астма: факторы риска и профилактика [Электронный ресурс]. URL: crb-vykxa.ru/news/articles/articles_649.html (дата обращения: 01.07.2022) [[Bronkhial'naya astma: faktory riska i profilaktika = Bronchial asthma: risk factors and prevention (2022, Jul. 01) [Online] (in Russian). URL: crb-vykxa.ru/news/articles/articles_649.html]]

11. Гусев А. В. Обзор Российских систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) [Электронный ресурс]. URL: webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenii (дата обращения: 01.07.2022) [[A. V. Gusev (2022, Jul. 01) Obzor Rossiiskikh sistem podderzhki prinyatiya vrachebnykh resheniy (SPPVR) = Overview of Russian systems for supporting medical decision-making (2022, Jul. 01) [Online] (in Russian). URL: webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenii.]]

12. Малых В. Л., Гулиев Я. И., Бельшев Д. В. Построение банка клинических данных на основе унифицированной модели лечебно-диагностического процесса DAMDID/RCDL-2015: 17-я междунар. конф. (Обнинск, 13–16 окт. 2015): тр. конф ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. С. 421–422. [[V. L. Malykh, Ya. I. Guliyev, D. V. Belyshev (in Russian). In: Proc. 17th Int. Workshop DAMDID/RCDL-2015, Obninsk, Russia, 2015, pp. 421-422.]]

13. Теория и практика оценки риска в медицине: материалы 30-й науч.-метод. Т33 конф. преподавателей медико-профилактического факультета / под ред. А. Р. Аветисова. Минск: БГМУ, 2013. С. 47. [[Materials of the 30th Sci. Method. T33 Conf. Teachers of the Medical and Preventive Faculty, pod red. A. R. Avetisova. Minsk, Belarus: BGMU, 2013, pp. 47.]]

14. Малых В. Л. Системы поддержки принятия решений в медицине // Программные системы: Теория и приложения. 2019. Т. 10, № 2 (41). С. 155–184. [[V. L. Malykh "Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v meditsine = Decision support systems in medicine," (in Russian). In: Programmnyye sistemy: Teoriya i prilozheniya, vol. 10, no. 2 (41), pp. 155-184]]

15. Астма [Электронный ресурс]. URL: who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/asthma (дата обращения: 01.07.2022). [[Astma = asthma (2022, Jul. 01) [Online] (in Russian). URL: who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/asthma]]

16. Гусев А. В. Исследование эффективности систем поддержки принятия врачебных решений [Электронный ресурс]. URL: webiomed.ru/blog/issledovanie-effektivnosti-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenii (дата обращения: 01.07.2022). [[A. V. Gusev. Issledovaniye effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya vrachebnykh resheniy [Online] (in Russian). URL: webiomed.ru/blog/issledovanie-effektivnosti-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenii]]

17. Юсупова Н. И., Шахмаметова Г. Р., Еникеева К. Р. Модели представления знаний для идентификации опасностей промышленного объекта // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 11. № 1. С. 91–100. [[N. I. Yusupova, G. R. Shakhmametova, K. R. Yenikeeva, "Modeli predstavleniya znaniy dlya identifikatsii opasnostey promyshlennogo ob'yekta = Knowledge Representation Models for Identifying Industrial Hazards," (in Russian), In: Vestnik UGATU, vol. 11, no. 1., pp. 91-100, 2008.]]

18. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска. [[GOST R 58771-2019 Menedzhment riska. Tekhnologii otsenki riska = Risk management. Risk assessment technologies (in Russian).]]

19. Николаев С. П. Система поддержки принятия решений врача-профпатолога для выявления ранних признаков профессиональных заболеваний // Медицина труда и промышленная экология. 2019. № 9 (59). [[S. P. Nikolayev, "Sistema podderzhki prinyatiya resheniy vracha-profpatologa dlya vyyavleniya rannikh priznakov professional'nykh zabolevaniy = Decision support system for an occupational pathologist to detect early signs of occupational diseases" (in Russian). In: Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya, 2019, no. 9 (59).]]

20. Юсупова Н. И., Сметанина О. Н., Сазонова Е. Ю., Агадуллина А. И., Наумова Т. В. Data Mining для поддержки принятия решений по совершенствованию психофизической готовности человека к успешной профессиональной деятельности // Труды ИСА РАН. Том 69. 4/2019. [[N. I. Yusupova, O. N. Smetanina, E. Yu. Sazonova, A. I. Agadullina, T. V. Naumova, "Data Mining dlya podderzhki prinyatiya resheniy po sovershenstvovaniyu psikhofizicheskoy gotovnosti cheloveka k uspeshnoy professional'noy deyatel'nosti = Data Mining to support decision-making to improve a person's psychophysical readiness for successful professional activity" (in Russian). In: Trudy ISA RAN, vol. 69. 4/2019.]]

21. Винокур И. Р. Методика анализа и управления рисками. Количественная оценка рисков // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2020. № 1. [[I. R. Vinokur, "Metodika analiza i upravleniya riskami. Kolichestvennaya otsenka riskov = Risk analysis and management methodology. Risk Quantification" (in Russian). In: Vestnik PNIPU, no. 1, 2020.]]

22. Шахмаметова Г. Р., Зулкарнеев Р. Х., Евграфов А. А. Аналитическая обработка медицинских данных в системе диагностики бронхолегочных заболеваний // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS-2018). Т. 1. С. 256–261. [[G. R. Shakhmametova, R. Kh. Zulkarneyev, A. A. Yevgrafov (in Russian). In: Proc. Workshop on Information Technology Intelligent Decision Support (ITIDS-2018), vol. 1, pp. 256-261.]]

23. G. Shakhmametova, R. Zulkarneev, A. Evgrafov, "Clinical decision support system for the respiratory diseases diagnosis," In: Proceedings of the 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS-2019). Atlantis-Press [Online]. Available: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/itids-19/125908965> [Accessed Jul. 01, 2022].

МЕТАДАННЫЕ / METADATA

Title: Formalization of Risk-Analysis Steps in DSS with Regard to Clinical Risk Assessments in Bronchopulmonary Diseases.

Abstract: The article analyzes the problem of identification, assessment and risk management in medicine by the example of obtaining qualitative and quantitative risk assessments of bronchopulmonary diseases. It shows the relevance and system-wide problems of risk management in medicine. Methods of risk identification (risk register formation) and obtaining of their quantitative and qualitative assessments are studied. Methods of risk prognostication in bronchopulmonary diseases are also considered. Bronchopulmonary disease risk classification is given (the risk of chronic disease exacerbation, acute disease development risk, disability risk, risk of lethal outcome after bronchopulmonary disease are included in the risk register). The factors contributing to the emergence and escalation of the selected types of risks are analyzed, which together are the prerequisites for developing a decision support system (DSS), which may be useful for both practicing physicians and medical students. Models and methods of bronchopulmonary disease risk analysis and obtaining qualitative and quantitative estimates are given for each of the stages of risk analysis. The modular structure of DSS for the analysis and risk assessment of bronchopulmonary diseases is proposed on the basis of system modeling methods; the formalization of risk-analysis stages for subsequent development of software prototypes of individual DSS modules is presented. The article concludes with the results of solving some problems of risk assessment in bronchopulmonary diseases - the application of Kaplan–Meier model to estimate life expectancy in the study of the effectiveness of bronchial asthma treatment, and also suggests an algorithm for forming the best strategy for bronchial asthma treatment with a certain risk-level.

Key words: Risk management in medicine; bronchopulmonary disease risk analysis methods; bronchopulmonary disease risk management methods; DSS in bronchopulmonary disease risk management; Kaplan-Meier model for life expectancy assessment in studying the effectiveness of bronchial asthma treatment methods

Язык статьи / Language: русский / Russian.

Поддержка/Support: РФФ, грант 22-19-00471.

Об авторах / About authors:

Юсупова Нафиса Исламовна

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия.
Проф. каф. вычислительной математики и кибернетики.
Дипл. радиофизик (Воронежск. гос. ун-т, 1975). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1997).
Иссл. в обл. управления, сист. анализа, интел. обр. данных.
E-mail: yussupova@ugatu.ac.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7114-7638>
URL: elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=108068

Нургаянова Ольга Сергеевна

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия.
Доц. каф. вычислительной математики и кибернетики. Дипл. инж.-программист (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2003).
Канд. техн. наук по сист. автоматиз. упр-я (там же, 2006).
Иссл. в обл. разр. новых материалов и искус. интеллекта.
E-mail: onurgayanova@yandex.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2978-3662>
URL: elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=494326

Зулкарнеев Рустэм Халитович

ФГБОУ ВО «Башкирский гос. мед. университет», Россия.
Проф. каф. пропедевтики внутр. болезней. Дипл. врач-пульмонолог (Башкирск. мед. ин-т, 1988). Д-р мед. наук (НИИ пульмонологии МЗ РФ, 2007). Иссл. в обл. бронхолегочных заболеваний.
E-mail: zrustem@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-7070>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=328663

Ysupova Nafisa Islamovna

Ufa University of Science & Technologies, Russia.
Prof., Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics.
Dipl. Radio physicist (Voronezh State Univ., 1975). Dr. of Tech. Sci. (Ufa State Aviation Tech. Uni., 1995). Research: Control & Management, Systems Analysis, Intelligent Data Processing.
E-mail: yussupova@ugatu.ac.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7114-7638>
URL: elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=108068

Nurgayanova Olga Sergeevna

Ufa University of Science & Technologies, Russia.
Docent, Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics.
Dipl. Programmer Engineer (Ufa State Aviation Tech. Uni., 2003).
Cand. of Tech. Sci. (Ufa State Aviation Tech. Uni., 2006). Research: New Materials Development, Artificial Intelligence.
E-mail: onurgayanova@yandex.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2978-3662>
URL: elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=494326

Zulkarneev Rustem Khalitovich

Bashkir State Medical University, Russia.
Prof., Dept. of Internal Medicine. Dipl. Pulmonologist (Bashkir Medical Institute, 1988). Dr. Med. Sci. (Research Institute of Pulmonology, Moscow, 2007). Research: bronchopulmonary diseases.
E-mail: zrustem@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-7070>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=328663