

Разработка алгоритма работы логического решателя интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для инструментальной диагностики стенокардии

К.В. Киселев¹, Е.А. Ноева², О.Н. Выборов², А.В. Зорин², А.В. Потехина², М.К. Осяева², Т.В. Мартынюк², Т.В. Зарубина¹

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

² «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Министерства здравоохранения РФ, Москва, Россия

Системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) становятся все более популярными в связи с внедрением информационных технологий в медицину и развитием медицинских информационных систем. Потенциальные преимущества от использования СППВР заставляют искать пути создания такой системы, которая бы позволяла решать не только клинические задачи, но и аналитические, задачи планирования, обучения врачебного персонала, поиска новых знаний в медицине. Со времен создания первой СППВР MYCIN прошло почти 50 лет, но разработки подобных систем – систем, осуществляющих интеллектуальную поддержку принятия врачебных решений (ИСППВР), по-прежнему сталкиваются с проблематикой имитации рефлексии, т.е. математическим вариантом отражения сомнений в правильности принятого решения, и построения адекватной машины логического вывода, которая бы предоставляла врачу подробные объяснения относительно предлагаемых вариантов дальнейших действий. Данная статья посвящена описанию опыта разработки алгоритма функционирования логического решателя ИСППВР для инструментальной диагностики стенокардии, который бы с помощью математических методов позволил адекватно оценивать предлагаемые врачу варианты действий, а также детализированно объяснять их с помощью пользовательских сценариев использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стенокардия, системы поддержки принятия врачебных решений, СППВР, логический решатель.

Для цитирования: Киселев К.В., Ноева Е.А., Выборов О.Н., Зорин А.В., Потехина А.В., Осяева М.К., Мартынюк Т.В., Зарубина Т.В. Разработка алгоритма работы логического решателя интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для инструментальной диагностики стенокардии. Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2019; 1(35): 32–42. DOI: 10.31556/2219-0678.2019.35.1.032-042

Development of a Reasoning Solver Algorithm for Instrumental Diagnostics of Angina Pectoris in Intelligent Clinical Decision Support System

K.V. Kiselev¹, E.A. Noeva², O.N. Vyborov², A.V. Zorin², A.V. Potekhina², M.K. Osyayeva², T.V. Martynyuk², T.V. Zarubina¹

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

² Federal state budget institution “National medical research center of cardiology” of the Ministry of healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

Clinical Decision Making Support Systems (CDMSS) are becoming increasingly popular in the wake of the introduction of information technology in medicine and the development of medical information systems. The potential benefits of using the CDMSS are forcing you to look for ways to create such a system that would allow you to solve not only clinical problems, but also analytical ones, planning tasks, training medical personnel, and digging new knowledge in medicine. It has been almost 50 years since the creation of the first MYCIN CDMSS, but the developers of such systems, the systems that provide intellectual support for clinical decision-making (ICDMSS), still face the problems of imitating reflexion and building an adequate inference machine that would provide the doctor with detailed explanations regarding proposed options for further action. This article is devoted to describing the experience of developing an algorithm for the operation of the solver of ICDMSS for diagnosing angina, which using mathematical methods would allow adequately evaluating the options offered to the doctor, as well as explaining them in detail using custom user stories.

KEYWORDS: Angina pectoris, clinical decision making support systems, CDMSS, solver algorithm.

For citation: Kiselev K.V., Noeva E.A., Vyborov O.N., Zorin A.V., Potekhina A.V., Osyayeva M.K., Martynyuk T.V., Zarubina T.V. Development of a Reasoning Solver Algorithm for Instrumental Diagnostics of Angina Pectoris in Intelligent Clinical Decision Support System. Medical Technologies. Assessment and Choice. 2019; 1(35): 32–42. DOI: 10.31556/2219-0678.2019.35.1.032-042

Список сокращений

ИБС	– ишемическая болезнь сердца
МИС	– медицинская информационная система
ИСППР	– интеллектуальная система поддержки принятия решений
СППВР	– система поддержки принятия врачебных решений
ИСППВР	– интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений
СУБД	– система управления базами данных
БЗ	– база знаний

Список используемых понятий и определений

Вероятность выявления признака – выделенная из научных источников, результатов анализа ретроспективных данных, либо установленная с помощью врачей-экспертов численная характеристика, позволяющая установить уверенность в том, что метод исследования позволит в данной ситуации выявить интересующий врача признак заболевания

Имитация врачебной рефлексии – попытка воссоздать в программном алгоритме свойство врача сомневаться в правильности выбранного решения, достигающаяся за счет использования расчета вероятностных характеристик решения

Имитация интеллекта врача – попытка воссоздать в программном алгоритме способ перехода между признаками, диагнозами и диагностическими методами, приближенный к таковому у врача в момент принятия решения

Исход диагностического исследования – результат диагностики, выражающийся в установлении наличия или отсутствия того или иного признака

Логический решатель – программный компонент системы поддержки принятия врачебных решений, отвечающий за имитацию интеллекта врача

Метод пользовательских сценариев (метод пользовательских историй) – инструмент бизнес-анализа, используемый при уточнении функционала разрабатываемого программного продукта, основанный на получении текстового описания требуемой функции от конечных пользователей

Нормированная уверенность – вероятность выявления признака, приведенная к единой шкале оценки

Общая вероятность – рассчитанная логическим решателем вероятность предложить врачу правильное действие, основанная на нормированной уверенности

Патогномоничность признака – клиническая интерпретация общей вероятности наличия признака при данной патологии, указывающая на однозначное установление диагноза

Релевантность метода диагностики – клиническая интерпретация общей вероятности назначения исследования, указывающая на необходимость проведения данного метода диагностики

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность разработки и использования систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в медицинских информационных системах (МИС) неуклонно растет [1]. Интерес в области разработки программных продуктов, которые бы обладали широким спектром функций, предназначенных для информационной поддержки врача на различных этапах лечебно-диагностического процесса, оценке качества оказанной медицинской помощи, предварительной оценке конечной стоимости оказанных услуг, непрерывного повышения квалификации врачей, использования в области получения новых медицинских знаний постоянно подогревается увеличивающимися объемами цифровизации медицины, и в первую очередь использованием электронных медицинских карт [2, 3]. В ходе эволюции систем поддержки принятия решений стали выделять особую группу – интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР) [4]. Эти системы отличались тем, что, оперируя нечеткими знаниями, позволяли симитировать «интеллект» эксперта в конкретной предметной области и использовать данный функционал для оказания информационной помощи в принятии решений. Следуя поставленной цели информационной поддержки деятельности врача, разработчики СППВР начали выделять особую группу систем – интеллектуальные системы поддержки принятия врачебных решений (ИСППВР), которые имитируют интеллект врача для решения указанных выше задач.

В рамках работы по созданию интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для диагностики стенокардии I–IV функциональных классов ранее были рассмотрены аспекты проработки номенклатуры медицинских понятий предметной области и архитектуры медицинской онтологии, которая являлась базой знаний (БЗ) ИСППВР [5, 6].

Особое место в разработке ИСППВР занимает логический решатель и алгоритм его работы. Использование в качестве базы знаний медицинской онтологической модели открывает большие возможности по составлению алгоритма работы решателя, однако, эти возможности должны быть заранее предусмотрены на этапах проработки архитектуры онтологии не только в части используемых типов медицинских понятий (узлов онтологии) и связей между ними, но и атрибутов этих узлов и связей. Дополнительный интерес в алгоритме работы решателя вызывает механизм имитации врачебной рефлексии, который может быть реализован различными способами [7, 8]. Сочетание факторов проработки сценариев использования ИСППВР и необходимости имитации рефлексии определили следующую цель исследования.

Цель: разработка алгоритма работы логического решателя интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений с использованием пользовательских сценариев и математических методов имитации рефлексии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На этапе согласования границ онтологической модели и модели пациента, которые использовались для ограничения предметной области, впервые был поднят вопрос о той информации, которая будет заложена в базу знаний. Эта информация напрямую влияла на возможности логического решателя, а также сценарии использования ИСППВР по выводу врачу релевантной клинической информации на этапе дополнительной инструментальной диагностики стенокардии.

Для уточнения требований было принято решение использовать метод пользовательских сценариев (англ. userstories, метод пользовательских историй) [9]. Метод пользовательских сценариев уже достаточно давно и успешно применяется в практике гибкой разработки программного обеспечения [10]. Данный метод позволил привлечь врачей-экспертов, которые участвовали в наполнении онтологической базы знаний, к неформализованному описанию работы логического решателя. Пользовательская история представляет собой текстовое описание того, как должна работать та или иная функция в программном обеспечении. В данном случае – какие возможности должна предоставлять

ИСППВР и ее логический решатель врачу в ходе назначения дополнительных диагностических исследований больному с подозрением на стенокардию.

Для возможности реализации в программном продукте выделенных сценариев в архитектуру онтологической модели знаний были добавлены компоненты, позволяющие разработать алгоритм решателя ИСППВР. Для работы с вероятностными характеристиками и имитации «рефлексии» ИСППВР была использована сигмоидная функция.

Валидация работы решателя осуществлялась с использованием 390 выписок из электронных медицинских карт больных со стенокардией и заключалась в установлении соответствия между пользовательскими сценариями, данными из валидационного набора выписок из ЭМК и предлагаемых решателем действий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе аналитической работы с врачами-экспертами были выделены основные требования, которые врачи предъявляли к функционалу ИСППВР. Перечень основных сформулированных экспертами пользовательских историй представлен в таблице (табл. 1).

Таблица 1 Пользовательские истории (сценарии) использования ИСППВР на этапе диагностики стенокардии

Table 1 User stories (scenarios) of using an intelligent medical decision-making support system for a diagnosis of angina

№	Формулировка пользовательской истории / Formulation of userstory	Связанные характеристики в архитектуре онтологии (базы знаний) / Related characteristics in the architecture of ontology (intelligent database)
1.	ИСППВР должна распознавать смысл вводимой в ЭМК (протокол осмотра) информации независимо от используемого врачом синонима понятия / ICDMSS should recognize the meaning of input data in dependent of synonym physician used to enter into the electronic medical record (a protocol of medical examination)	Для всех типов узлов предусмотрено существование связи «Синоним»; при этом на этапе проработки номенклатуры медицинских понятий выделялось корневое понятие – наиболее общеупотребимая формулировка понятия – и его синонимы / Throughout node types, a "synonym" link is planned; by doing so, at the stage of the development of medical terminology nomenclature a root concept was distinguished as a most commonly used term and its synonyms
2.	ИСППВР должна уметь дифференцировать детали понятия, если врач указал в протоколе понятие общего характера / ICDMSS should differentiate details of the concepts if a physician used a general concept	Для всех типов узлов предусмотрена возможность создания связи «род–вид», которая позволяет строить классификации элементов. Например, ИБС–(вид) → Стенокардия напряжения–(вид) → Стенокардия напряжения I функционального класса. Таким образом, если врач укажет в поле диагноза электронного протокола «Стенокардия напряжения», то ИСППВР сможет показать, что данный диагноз является видом ишемической болезни сердца, но при этом не является окончательным в соответствии с классификацией и сможет детализировать понятие «Стенокардия напряжения» до конкретного функционального класса / Throughout node types, the possibility of making connections "family–class" is planned which allows to construct data elements classifications. For example, IHD (class) → effort angina (class) → effort angina functional class I (class). Therefore, if a physician specifies in the diagnosis field of the electronic protocol "effort angina", the intelligent medical decision-making support system will recognize that this diagnosis is a class belonging to the ischemic heart disease, but it is not a final diagnosis according to the classification and it should be further detailed into functional class
3.	ИСППВР должна подсказывать дальнейшие диагностические назначения в порядке убывания значимости / ICDMSS should prompt further diagnostics prescriptions in descending order	В базе знаний реализованы типы узлов: «Диагноз», «Диагностический признак», «Инструментальное исследование», «Лабораторное исследование». Диагноз связан с диагностическим признаком, диагностический признак – со всеми исследованиями, с помощью которых его можно обнаружить. Таким образом, через связь с диагнозом решатель сначала определяет релевантные признаки, а затем, через связь признаков с методами, релевантные методы исследования. Релевантность признака определяется атрибутом связи между узлами «Диагноз» и «Диагностический признак» – «Патогномоничность признака»*, релевантность исследования для признака – атрибутом «Вероятность выявления признака»* в связи между признаком и исследованием /

Таблица 1 (окончание)

№	Формулировка пользовательской истории / Formulation of userstory	Связанные характеристики в архитектуре онтологии (базы знаний) / Related characteristics in the architecture of ontology (intelligent database)
		<p>In the knowledge base the following node types are implemented: "Diagnosis", "Diagnostic character", "Instrumental examination", "Laboratory assessment". Diagnosis is related to diagnostic character, diagnostic character is related to all instrumental examinations and laboratory assessments required to diagnose a disease. As a result, first through the links with diagnosis a solver determines relevant characters, then through the characters' links with instrumental examinations and laboratory assessments a solver determines relevant methods of examination and assessment.</p> <p>The relevance of a character is determined by link attribute between nodes "Diagnosis" and "Diagnostic character" – "Pathognomonic character"*, the relevance of methods of examination or assessment for the character is defined by attribute "Probability of character detection"* in the link between character and methods</p>
4.	ИСППВР должна уметь объяснять врачу причину, по которой предлагается к назначению дальнейшее исследование / ICDMSS should be able to explain to a physician a reason why a further prescription is suggested	<p>Для объяснения использовались значения атрибутов «Патогномоничность признака»* и «Вероятность выявления признака»* / For explanations attribute values are used such as "Pathognomonic character"* and "Probability of character detection"*</p>
5.	ИСППВР должна уметь предсказывать исход назначаемого исследования и формировать предлагаемые дальнейшие шаги в зависимости от этого исхода / ICDMSS should be able to predict an outcome of the prescribed examination or assessment and to suggest further steps depending on the outcome	<p>В связи между понятиями «Диагноз» и «Диагностический признак» предусмотрен атрибут «Значение признака», которых хранил значения признака для данной патологии с учетом временной характеристики (атрибут «Время для выявления признака», атрибут «Точка отсчета времени выявления признака», атрибут «Единица измерения времени». Например: «3» – «день» – «Поступление в стационар». Временная характеристика позволяла хранить не только события, связанные с движением пациента, но и с динамикой развития патологического процесса. Дальнейшие шаги в исследовании и постановке заключительного диагноза выполнялись в соответствии со сценарием 3 / In the link between "Diagnosis" and "Diagnostic character" the attribute "Character value" is planned which has saved a character value for a particular condition in respect of a time-response characteristic (attribute "Time for character detection", attribute "Time-reference point for character detection", attribute "Unit for measuring time"). For example: "3", "day", "Admission to a hospital". Time-response characteristic allows to save not only data related to patient movements, but also data related to the development of pathological process. Further actions in examination and assessment for final diagnosis should be performed in accordance with scenario 3</p>
6.	ИСППВР должна помочь подтвердить диагноз / ICDMSS should help to confirm a diagnosis	<p>Использовался атрибут «Патогномоничность признака»* так, что если все патогномоничные в соответствии с данным значением атрибута признаки были найдены, то диагноз считался подтвержденным / The attribute "Pathognomonic character"* is used in such a way: if all pathognomonic characters related to a particular attribute are identified, the diagnosis is considered to be confirmed</p>
7.	ИСППВР должна оценить качество предоставленной медицинской помощи / ICDMSS should evaluate quality of provided medical care	<p>In the link between "Diagnostic character" and "Instrumental examination or laboratory assessment" the attribute "The number of tests conducted" is planned which allowed to compare a number of tests should be performed (for example, X-ray of thoracic organs) to the number of tests actually performed. In conjunction with this attribute the link has an attribute "Conditions for tests to be conducted", where the value of diagnosis with a recommended number of tests is saved. By using values of attributes "Time for character detection", "Time-reference point for character detection", "Unit for measuring time" the time of character detection was monitored, actually the time for test to be conducted</p>

Пользовательские сценарии, представленные в таблице, были основными для реализации логики работы решателя. Детализируемые требования напрямую отражались на архитектуре онтологической модели (рис. 1).

Когда были сформулированы пользовательские сценарии, касающиеся вероятностной оценки возникновения событий (атрибуты «Патогномоничность признака» и «Вероятность выявления признака»), встал вопрос о том, какие компоненты общей вероятности использовать для работы решателя. Компоненты должны быть подобраны таким образом, чтобы попытаться сделать

максимально объективной итоговую общую вероятность.

Для решения задачи было принято решение использовать 3 компонента:

- Экспертную оценку вероятности;
- Значения убедительности и достоверности из клинических рекомендаций;
- Статистическую вероятность возникновения события, рассчитанную на основе ретроспективного анализа электронных медицинских карт пациентов с подходящей моделью заболевания.

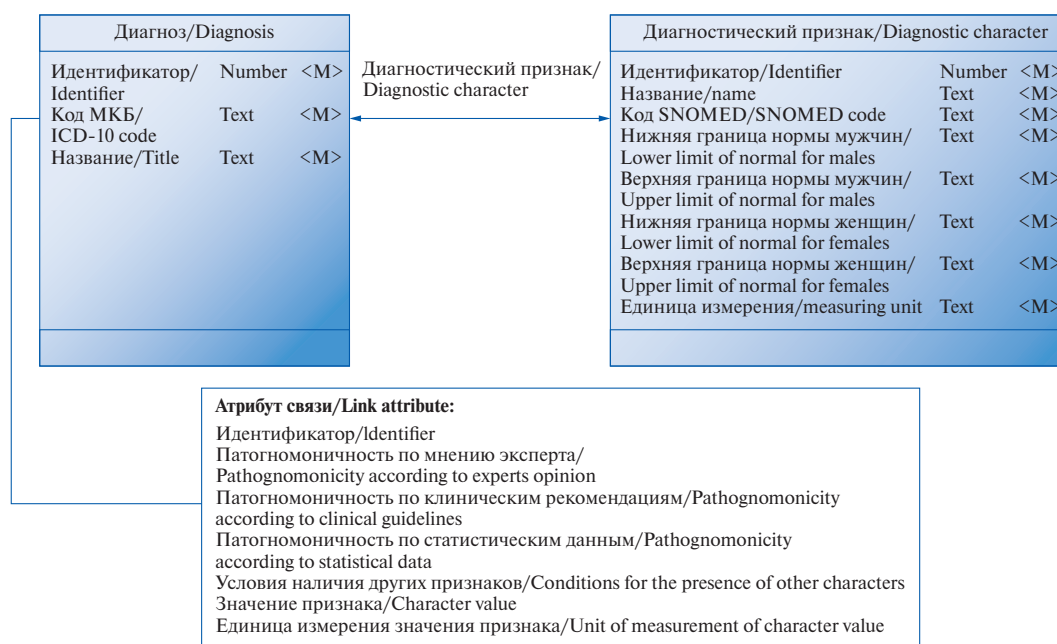


Рисунок 1. Фрагмент логического описания архитектуры онтологической модели диагностики стенокардии.

Figure 1. A fragment of the logical description of the architecture of ontology-based model for diagnosis of angina pectoris.

Выбор данных компонентов обуславливался следующими предположениями:

- Разные эксперты имеют различные представления о том, как поступать в конкретной клинической ситуации. Это обусловлено их индивидуальным клиническим опытом, а также может быть связано с особенностями принятия решений конкретным человеком;
- Численность экспертной группы мала, что не позволяет с высокой степенью вероятности получить объективную оценку, путем согласования экспертных мнений [11];
- Обьективизировать обобщенную экспертную оценку могут помочь другие обобщенные вероятност-

ные характеристики – доказанность и достоверность, основанные на принципах доказательной медицины;

- Ретроспективные данные, имевшиеся в наличии, были получены с учетом особенностей ведения клинической практики и электронной медицинской документации в конкретном медицинском учреждении, поэтому было принято решение использовать показатель встречаемости событий, извлеченный из ретроспективных данных, для гармонизации оценки действия между рекомендациями экспертов, клиническими рекомендациями и имеющимися данными.

Экспертная оценка вероятности устанавливалась с помощью анкет (табл. 2).

Таблица 2 Анкета установления обязательности назначения дополнительных исследований и их рекомендованного количества (фрагмент)

Table 2 The questionnaire to investigate the necessity of prescribing additional tests and their recommended frequency (fragment)

Название исследования / Test	Обязательность по мнению Эксперта (по шкале от 0 до 10, где 0 – проводить исследование не нужно, 10 – исследование обязательно к проведению вне зависимости от симптоматики или других диагностических признаков) / Obligation according to expert (on the scale from 0 to 10, where 0 is for the test has not to be performed and 10 is for the test has to be performed)	Рекомендуемое количество обязательных исследований / Recommended number of required tests
Аланинаминотрансфераза / alanine aminotransferase	10	2
Аспаратаминотрансфераза / aspartate aminotransferase	10	2
Креатинкиназа / creatine kinase	8	1
Лактатдегидрогеназа / lactate dehydrogenase	8	1
Щелочная фосфатаза / alkaline phosphatase	3	1
Глюкоза крови* / blood glucose*	10	1
Калий крови* / blood potassium*	10	2
Хлор крови* / blood chloride*	3	1

* Сохранены оригинальные названия исследований из выписок ЭМК / The original terms from protocols of IMR are used.

Таблица 3 Нормировочная шкала вероятностных оценок
Table 3 Norm-based scale of probabilistic estimates

Интерпретация / Interpretation	Обязательно не назначать / Have not to be performed	Обязательно не назначать / Have not to be performed	Не следует назначать / Should not be performed	Не следует назначать / Should not be performed	Можно назначать / Can be performed	Можно назначать / Can be performed	Можно назначать / Can be performed	Следует назначать / Should be performed	Следует назначать / Should be performed	Обязательно назначать / Have to be performed	Обязательно назначать / Have to be performed
Нормированный показатель / Norm-based score	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Уверенность эксперта / Expert's confidence	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Убедительность / Level of evidence	III	III	III	IIb	IIb	IIb	IIa	IIa	IIa	I	I
Достоверность / Grade	C	B	A	C	B	A	C	B	A	B	A
Вероятность / Probability	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Для выявления уровней убедительности и достоверности использовались клинические рекомендации по стабильной ишемической болезни сердца [12]. Для расчета статистической вероятности использовались данные 787 электронных медицинских карт пациентов, обработанные с использованием разработанной номенклатуры медицинских понятий и метода регулярных выражений.

Так как все три компонента представляли собой разноразмерные величины, то было необходимо нормировать их на единую шкалу вероятности (табл. 3).

При этом уровни убедительности и достоверности нормировались в паре: IA – 5, IIbC – –2.

Такие значения нормированного показателя были выбраны не случайно, т.к. выбор напрямую зависел от метода согласования этих вероятностных характеристик и попытки реализовать механизм рефлексии в алгоритме работы решателя.

В качестве математического метода согласования вероятностных характеристик были рассмотрены функции активации, которые обычно используются в искусственных нейронных сетях: сигмоида, гиперболический тангенс, тождественная и обратный квадратный корень [13]. Выбор именно этих функций не случаен: все они монотонно растут на отрезке $(-\infty, +\infty)$. Сравнительная таблица функций представлена ниже (табл. 4).

В результате исследования свойств этих функций было принято решение остановить свой выбор на сигмоиде на основании поведения этой функции в области начала координат, а также значений функции 0,3 и 0,7 (рис. 2).

Из рисунка видно, что скорость увеличения значения функции нелинейно возрастает до $x = 0$, после чего также нелинейно убывает. Характер изменения скорости значений функции достаточно хорошо укладывается в концепцию «раздумий» [14] над однозначностью в принятии решения в медицине: даже если факторы начинают указывать на низкую вероятность возникновения события (значение функции 0,3 и ниже), то нель-

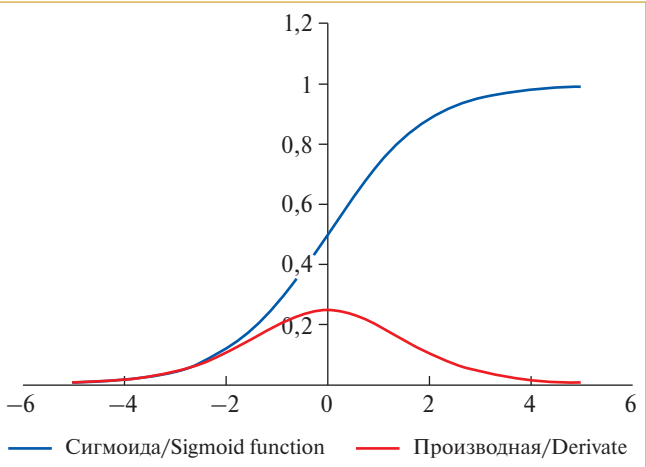


Рисунок 2. Сигмоидная функция и ее производная.
Figure 2. Sigmoid function and its derivate.

Таблица 4 | Сравнительная таблица математических функций для согласования вероятностных характеристик

Table 4 | Comparative table of math functions for reconciling of probabilistic characteristics

№	Функция / Function	Математическое уравнение / Math equation	Область значений / The range of values
1.	Тождественная / identical	$fx = x$	$(-\infty, +\infty)$
2.	Сигмоида / sigmoid	$fx = 1/(1 + e^{-x})$	$(0, 1)$
3.	Гип. тангенс / hyp. tangent	$fx = (e^{2x} - 1)/(e^{2x} + 1)$	$(-1, 1)$
4.	Обратный кв. корень /reciprocalsquareroot	$fx = x^{1/a}$	$(-1/a, 1/a)$

зя полностью отрицать возникновения этого события даже при факторах, которые еще больше снижают вероятность их возникновения. Таким же образом формируется логика рассуждений на области значений функции $[0, 1]$: даже при появлении факторов, которые однозначно начинают указывать на то, что событие произойдет, то при еще большем влиянии этих факторов всегда будет оставаться вероятность того, что ожидание возникновения этого события является ошибкой.

Область значений сигмоидной функции и определенное значение нормированного показателя (табл. 4), который в функции используется в качестве аргумента.

Таким образом, итоговый расчет вероятности возникновения события (расчет релевантности исследования, патогномичности признаков) осуществлялся по следующей формуле (1):

$$P = 1/(1 + e^{-(x + y + z)}) \quad (1),$$

где P – конечное значение атрибута «Патогномичность признака» или «Вероятность выявления признака» x – нормированная экспертная уверенность, y – нормированная уверенность по клиническим рекомендациям, z – нормированная статистическая уверенность.

Таким образом, если бы эксперты утверждали, что признак будет выявлен с помощью данного метода с вероятностью 7 (нормированный показатель 2), клинические рекомендации давали уверенность 3 (нормированный показатель 0), а статистическая вероятность была равна 0,2 (нормированный показатель – 3), то значение P было равно 0,3 и интерпретировалось бы как «не следует назначать».

Данная функция позволяет учитывать неограниченное количество нормированных влияющих факторов, поэтому при необходимости, в нее можно добавить значение второго, третьего и т.д. мнений, а также повысить приоритет влияния того или иного фактора.

С учетом реализации сигмоидной функции в качестве активационной, а также имеющихся пользовательских сценариев был разработан алгоритм функционирования логического решателя. Алгоритм был разбит на логические компоненты по числу пользовательских сценариев и реализован на языке *c#* при разработке тестового приложения СППВР. Фрагмент данного алгоритма в части реализации сценариев распознавания синонимов и предложения вариантов диагностических исследований представлен на рис. 3.

Адекватность работы алгоритма проверялась по признакам формального соответствия требованиям пользовательских сценариев, а также сравнения предлагаемых ИСППВР шагов в части диагностики стенокардии с ретроспективными данными 390 электронных медицинских карт пациентов. Данное сравнение проводилось в полуавтоматическом режиме в соответствии с каждым из разработанных пользовательских сценариев. Для валидации сценария 1 в каждой из 390 выписок ЭМК вручную размечались медицинские понятия. Далее эти выписки автоматически анализировались дополнительно разработанным программным обеспечением, которое обращалось к базе знаний ИСППВР и с помощью метода регулярных выражений формировало свою версию разметки понятий. Вручную оценивались расхождения в разметке. Понятия, не учтенные программой, добавлялись в базу знаний СППВР, для формирования логической полноты номенклатуры медицинских понятий. Валидация сценария 2 проводилась экспертно, путем подачи на вход ИСППВР понятия верхнего уровня («Ишемическая болезнь сердца») и анализа предлагаемых ИСППВР результатов уточнения этого понятия (имеется ввиду «стенокардия напряжения» или «стенокардия покоя»; при выборе «стенокардии напряжения»: имеется ввиду «стенокардия напряжения I функционального класса», «стенокардия напряжения II функционального класса» и т.д.).

Сценарий 3 валидировался на основе 390 выписок ЭМК: на вход программе подавалась вводная информация: пациент с подозрением на стенокардию, далее анализировались предлагаемые ИСППВР варианты диагностики и сравнивались с теми, что реально были проведены пациенту по данным выписки из ЭМК.

Сценарии 4 и 5 валидировались экспертно в полуавтоматическом режиме: оценивалась адекватность выдачи врачу информации по вероятности выявления интересующих признаков, адекватность предлагаемого исследования и сравнение его с тем, что было указано в выписке ЭМК и фактически проведено пациенту.

Сценарий 6 валидировался автоматически: на вход ИСППВР поступала выписка ЭМК, в которой искали диагностические признаки (с использованием номенклатуры понятий). Вероятностные характеристики найденных признаков использовались ИСППВР для постановки в сигмоидную функцию и выдачи окончательного значения вероятности подтверждения у данного пациента диагноза стенокардии.

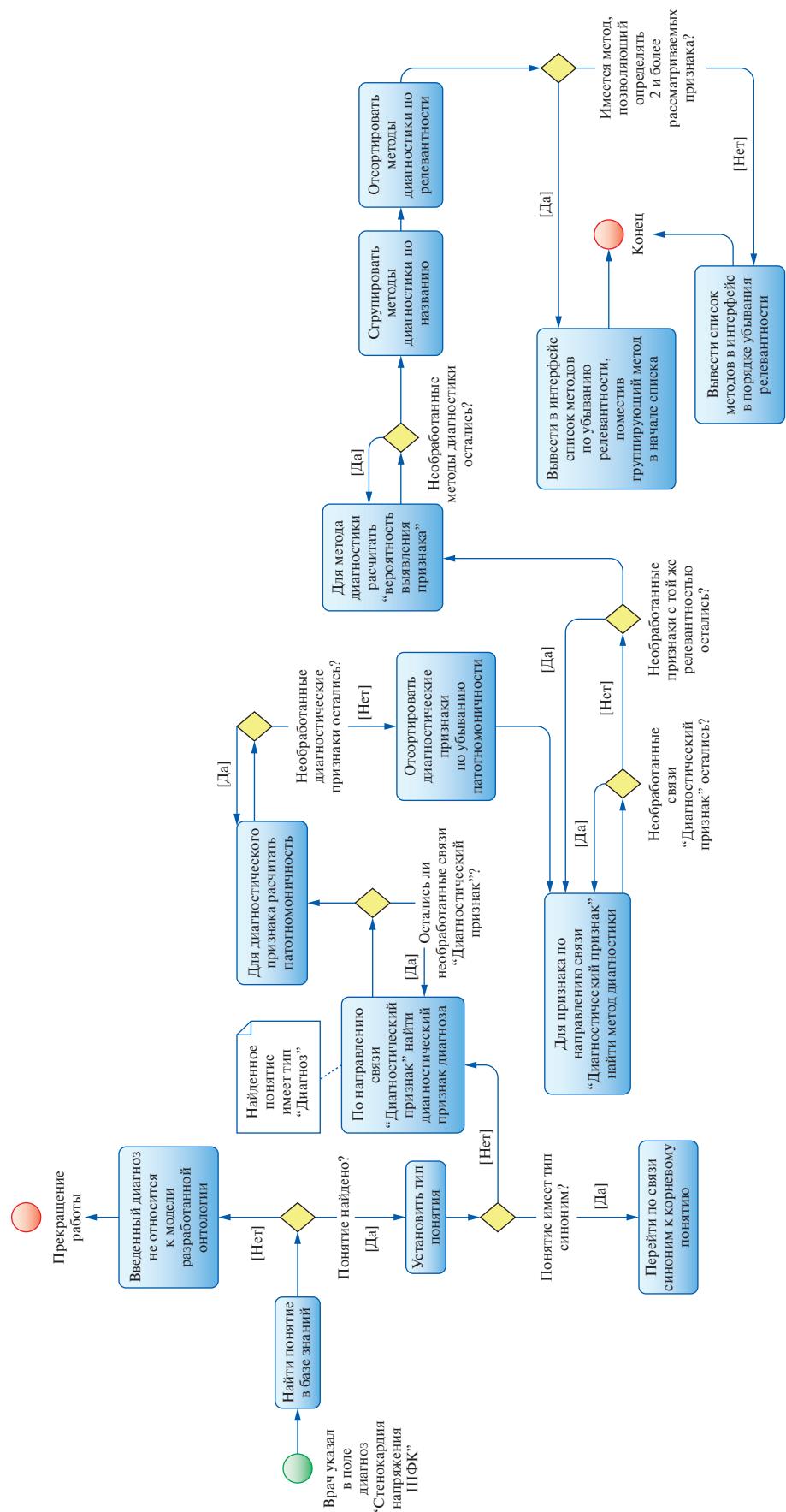


Рисунок 3. Фрагмент рабочего алгоритма логического решателя.
Figure 3. Fragment of the desktop of the logical solver algorithm.

Сценарий 7 валидировался экспертно: сравнивались данные по времени проведения исследований из валидационных выписок ЭМК с временными параметрами проведения исследований, предлагаемыми ИСППВР, а также количество исследований.

В результате валидации сценариев, совпадение используемых в выписках ЭМК понятий, предлагаемых ИСППВР назначений с ретроспективными данными составило 92%, что в первую очередь было вызвано частичными расхождениями модели пациента в ЭМК и моделью пациента в онтологической базе знаний. Недостающие знания были внесены в онтологическую модель, после чего валидация сценариев была произведена повторно, выдав полное соответствие между предложенными ИСППВР данными и ретроспективной информацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы поддержки принятия врачебных решений обретают все большую значимость, в связи с широким внедрением информационных технологий в медицину. Особую ценность в данном случае приобретают интеллектуальные СППВР, которые оперируют формализованными знаниями и, имитируя интеллект врача, могут детально объяснять предлагаемые ими варианты действий.

Разработка ИСППВР является многоэтапным процессом, где каждый предыдущий этап определяет функциональные возможности последующего и функциональные возможности ИСППВР в целом.

База знаний ИСППВР, в качестве которой может выступать медицинская онтология, во многом влияет на то, какие именно функции будет нести в себе ИСППВР. Архитектура онтологии изначально закладывает ограничения на хранимые знания и способ их использования в логическом решателе. Логический решатель должен быть реализован с учетом особенностей медицинской предметной области, а именно, он должен оставлять возможность возникновения или не возникновения тех или иных событий, когда большинство факторов однозначно указывают на их наличие. Проблема рефлексии в логическом решателе ИСППВР может быть решена с помощью математических методов преобразования вероятностей. Эти методы могут оперировать большим количеством разнородных вероятностных мнений, согласовывая их между собой и выдавая конечный результат с возможностью объяснения, как именно данный результат был получен.

В процессе разработки ИСППВР для узкой предметной области был получен большой опыт, которого, однако, не достаточно для того, чтобы рассматривать имеющиеся архитектуру и решатель в качестве типовых при расширении онтологической модели знаний не только в пределах кардиологии, но и других клинических направлениях. Работа в рамках данной проблематики будет продолжена.

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа потребностей в использовании ИСППВР при диагностике стенокардии были выделены 7 основных пользовательских сценариев, направленных на решение проблемы синонимии при работе с электронными медицинскими картами, уточнение деталей вводимых врачом в электронный протокол понятий, формирования списка релевантных назначений и объяснения причин, по которым предлагаются именно эти назначения, предсказания значений диагностических признаков, которые должны быть выявлены с помощью диагностических методов, подтверждение предполагаемого диагноза и оценку качества предоставляемой медицинской помощи.

2. На основе выделенных сценариев была сформирована архитектура онтологической базы знаний, которая содержала в себе компоненты, позволявшие решать проблему синонимии (тип понятий «Синоним» с одноименной связью к корневому понятию), реализовывать классификации и осуществлять по ним навигацию (тип связи «Род-Вид»), формировать списки релевантных назначений (типы узлов «Диагностический признак», «Инструментальное исследование», «Лабораторное исследование» и связи между ними, вероятностные характеристики патогномичности признаков и возможности выявления признаков с помощью тех или иных методов исследования). С помощью атрибутов «Значение признака» стало возможным предсказывать ожидаемый исход диагностического исследования. А с помощью группы атрибутов, характеризующих количество рекомендуемых к проведению исследований, и временные характеристики назначений стало возможно оценивать качество предоставляемой медицинской помощи.

3. Для имитации рефлексии при работе логического решателя были выделены три основных вероятностных компонента: экспертная оценка вероятности, значения убедительности и достоверности из клинических рекомендаций, а также статистическая вероятность возникновения события, рассчитанная на основе ретроспективного анализа электронных медицинских карт пациентов с подходящей моделью заболевания. Для согласования этих вероятностей была применена нормировочная шкала и сигмоидная функция, позволившая при наличии разнородных вероятностных характеристик выдавать конечный результат, согласующийся со спецификой механизмов принятия врачебных решений.

4. На основе выделенных пользовательских сценариев, компонентов архитектуры онтологической модели, а также математических методов преобразования вероятностных характеристик был сформирован алгоритм работы логического решателя, позволивший реализовать выделенные сценарии, а также подтвердить работоспособность ИСППВР на ретроспективных данных.

Дополнительная информация

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: статья опубликована без финансовой поддержки.

Статья поступила 22.10.2018 г.

Принято к публикации: 19.02.2019 г.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

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. / Gusev A.V., Zarubina T.V. Clinical Decisions Support in medical information systems of a medical organization. Vrach i informacionnie tehnologii [in Russ]. 2017; (2): 60–72.
2. Зарубина Т.В. Актуальные вопросы внедрения информационных технологий в здравоохранении. Вестник Росздравнадзора. 2018; (3): 20–6 / Zarubina T.V. Topical issues of introduction of information technologies in health care. Vestnik Roszdravnadzora [in Russ]. 2018; (3): 20–6.
3. Бойко Е.Л. Цифровое здравоохранение. Вестник Росздравнадзора. 2018; (3): 5–9. / Boiko E.L. Digital healthcare. Vestnik Roszdravnadzora [in Russ]. 2018; (3): 5–9.
4. Берштейн Л.С., Карелин В.П., Целых А.Н. Модели и методы принятия решений в интегрированных интеллектуальных системах: монография. Изд-во РГУ; 1999. 268 стр. / Bershtein L.S., Karelin V.P., Celih A.N. Models and methods of decision-making in integrated intelligent systems: monograph [in Russ]. RSU; 1999. 268 p.
5. Киселев К.В., Потехина А.В., Осеева М.К., Ноева Е.А., Выборов О.Н., Зорин А.В., Швырев С.Л., Мартынюк Т.В., Зарубина Т.В., Чазова И.Е. Разработка номенклатуры понятий для системы поддержки принятия врачебных решений в области диагностики стенокардии I–IV функциональных классов. Евразийский кардиологический журнал. 2018; (3): 14–25. / Kiselev K.V., Potehina A.V., Osyaeva M.K., Noeva E.A., Vborov O.N., Zorin A.V., Shvirev S.L., Martinyuk T.V., Zarubina T.V., Chazova I.E. Development of concepts nomenclature for clinical decision support system in diagnostics of angina pectoris. Eurasian heart journal [in Russ]. 2018; (3): 14–25.
6. Киселев К.В., Потехина А.В., Осеева М.К., Ноева Е.А., Выборов О.Н., Зорин А.В., Швырев С.Л., Мартынюк Т.В., Зарубина Т.В., Чазова И.Е. Разработка архитектуры базы знаний системы поддержки принятия врачебных решений, основанной на графовой базе данных. Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2018; (3): 42–48. / Kiselev K.V., Potehina A.V., Osyaeva M.K., Noeva E.A., Vborov O.N., Zorin A.V., Shvirev S.L., Martinyuk T.V., Zarubina T.V., Chazova I.E. Development of knowledge base architecture for clinical decision support system based on graph database. Medical Technologies. Assessment and Choice [in Russ]. 2018; 3(3): 42–48.
7. Кобринский Б.А. Нечеткость в клинической медицине и необходимость ее отражения в экспертных системах. Врач и информационные технологии. 2016; (5): 6–14. / Kobrinskii B.A. Fuzzy in clinical medicine and the need to reflect in expert systems. Vrach i informacionnie tehnologii [in Russ]. 2016; (5): 6–14.
8. Кобринский Б.А. Нечеткость и факторы уверенности вербальных и визуальных экспертных знаний. Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии (НСМВИТ-2017). Санкт-Петербург; 2017. p. 83–91. / Kobrinskii B.A. Fuzzy and certainty factor of verbal and visual expert knowledge. Nchetkie sistemi myagkie vychisleniya i intellektualnie tehnologii. Saint Petersburg [in Russ]; 2017. p. 83–91.
9. Кон М. Пользовательские истории: гибкая разработка программного обеспечения: [пер. с англ.]. Вильямс; 2012. Доступно: <https://books.google.ru/books?id=rMC1kgEACAAJ> / Kon M. User Stories Applied: For Agile Software Development. Williams [in Eng]; 2012. Available from: <https://books.google.ru/books?id=rMC1kgEACAAJ>
10. Vlasenko J., Abrahamsson P., Pedrycz W., Moser R., Fronza I. Predicting Development Effort from User Stories. 2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement [Интернет]. IEEE; 2011 [процитировано 2019 Фев 15]. p. 400–3. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6092598> // Vlasenko J., Abrahamsson P., Pedrycz W., Moser R., Fronza I. Predicting Development Effort from User Stories. In: 2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement [Internet] [in Eng]. IEEE; 2011 [cited 2019 Feb 15]. p. 400–3. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6092598/>
11. Тиханьчев О.В. О методах координации в системах поддержки принятия решений. Прикладная информатика. Научные статьи. 2018; (3)(75): 8 / Tihanichev O.V. Coordination ways in decision support systems. Journal of applied informatics [in Russ]. 2018; (3) (75): 8.
12. Министерство Здравоохранения Российской Федерации. Стабильная ишемическая болезнь сердца: Клинические рекомендации [Интернет]. 2016 [процитировано 2018 Апр 3]. Доступно: <http://cr.rosminzdrav.ru/#!/recomend/133> / Ministry of Health of Russian Federation. Ischemic heart disease: clinical recommendations [Internet] [in Russ]. 2016 [cited 2018 Apr 3]. Available from: <http://cr.rosminzdrav.ru/#!/recomend/133>
13. Farhadi F. Learning activation functions in deep neural networks (Masters thesis, École Polytechnique de Montréal) [Интернет]. Montreal: UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL; 2017. 171 стр. Доступно: https://publications.polymtl.ca/2945/1/2017_FarnoushFarhadi.pdf / Farhadi F. Learning activation functions in deep neural networks (Masters thesis, École Polytechnique de Montréal) [Internet] [in Eng]. Montreal: UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL; 2017. 171 p. Available from: https://publications.polymtl.ca/2945/1/2017_FarnoushFarhadi.pdf
14. Кобринский Б.А. Рефлексия и нечеткие представления в медицинских системах искусственного интеллекта. Рефлексивное управление. Тезисы международного симпозиума. 2000. стр. 85–86. / Kobrinskii B.A. Reflection and fuzzy representation in medical system soft artificial intelligence. Reflexive management. Theses of the international Symposium [in Russ]. 2000. p. 85–86.

Сведения об авторах:

Киселев Кирилл Владимирович

аспирант кафедры медицинской кибернетики и информатики ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова

Ноева Елена Александровна

старший научный сотрудник отдела ХИБС ИКК им. А.Л. Мясникова, канд. мед. наук

Выборов Олег Николаевич

научный сотрудник отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца НИИ кардиологии им. А.Л. Мясникова, канд. мед. наук

Authors:

Kiselev Kirill Vladimirovich

PhD candidate at the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University

Noeva Elena Alexandrovna

Senior Researcher at the Department of CIHD, National Medical Research Center of Cardiology, PhD

Vyborov Oleg Nikolaevich

Research Fellow at the Department of Pulmonary Hypertension and Heart Disease, National Medical Research Center of Cardiology, PhD

Зорин Андрей Владимирович

научный сотрудник отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца НИИ кардиологии им. А.Л. Мясникова, канд. мед. наук

Потехина Александра Викторовна

младший научный сотрудник отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца НИИ кардиологии им. А.Л. Мясникова, канд. мед. наук

Осяева Мария Константиновна

лаборант-исследователь отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца НИИ кардиологии им. А.Л. Мясникова

Мартынюк Тамила Витальевна

руководитель отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца НИИ кардиологии им. А.Л. Мясникова, д-р мед. наук

Зарубина Татьяна Васильевна

заместитель директора по информатизации в здравоохранении ЦНИИОИЗ Минздрава РФ, заведующая кафедрой медицинской кибернетики и информатики ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, д-р мед. наук, профессор

Адрес для переписки:

ул. Островитянова, д. 1, Москва 117997, Российская Федерация

Тел.: +7 (964) 515-68-86

E-mail: kirillkiselev@pm.me

Zorin Andrey Vladimirovich

Research Fellow at the Department of Pulmonary Hypertension and Heart Disease, National Medical Research Center of Cardiology, PhD

Potekhina Alexandra Viktorovna

Junior Researcher at the Department of Pulmonary Hypertension and Heart Disease, National Medical Research Center of Cardiology, PhD

Osyaeva Maria Konstantinovna

Laboratory Assistant-Researcher at the Department of Pulmonary Hypertension and Heart Diseases, National Medical Research Center of Cardiology, PhD

Martyniuk Tamila Vitalyevna

Head of the Department of Pulmonary Hypertension and Heart Disease, National Medical Research Center of Cardiology, Doctor of Medical Sciences

Zarubina Tatyana Vasilievna

Deputy Director for Informatization in Health Care of the Central Research Institute of the Ministry of Health of the Russian Federation, Head of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University, Doctor of Medical Sciences, Professor

Address for correspondence:

Ostrovityanova st., 1, Moscow 117997, Russian Federation

Tel.: +7 (964) 515-68-86

E-mail: kirillkiselev@pm.me