

УДК 616-006; 615.849

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ЛЕГКИХ КАК ЭТАП РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДИАГНОСТИКЕ РАКА ЛЕГКОГО

¹В. М. Моисеенко, ^{1,2}А. А. Мелдо, ²Л. В. Уткин, ^{1,2}И. Ю. Прохоров, ²М. А. Рябинин,
^{1,2}А. А. Богданов

¹Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов
медицинской помощи (онкологический), Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

В эпоху четвертой промышленной революции отмечается стремительный прогресс технологических разработок в области медицины. Возможности накопления больших объемов цифровой информации и рост производительности современных компьютеров стали причиной повышенного внимания к искусственному интеллекту (ИИ) и его роли в диагностике и прогнозировании заболеваний. В диагностике искусственный интеллект призван моделировать человеческую деятельность, которая считается интеллектуальной, обеспечивая помощь практикующему врачу в обработке больших объемов данных (big data). Развитие ИИ может быть рассмотрено как мера реализации и обеспечения национальных интересов политической и экономической направленности в развитии здравоохранения. Рак легкого занимает лидирующую позицию в структуре онкологической заболеваемости, это диктует актуальность разработки и внедрения автоматизированных систем диагностики (АСД), ориентированных именно на рак легкого как социально значимого заболевания. В статье приводятся сведения о результатах разработки автоматизированной системы обнаружения объемных образований в легких на основе обработки данных компьютерной томографии, отражена перспектива ее использования в диагностике рака легкого с помощью ИИ. В зарубежной и отечественной литературе пока нет достаточного количества сведений о месте российских разработок в этой области¹.

Ключевые слова: искусственный интеллект, автоматизированная система диагностики, компьютерная томография, рак легкого, машинное обучение.

AUTOMATED DETECTION SYSTEM FOR LUNG MASSES AS A STAGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT IN THE DIAGNOSTICS OF LUNG CANCER

¹V. M. Moiseenko, ^{1,2}A. A. Meldo, ²L. V. Utkin, ^{1,2}I. Yu. Prokhorov, ²M. A. Ryabinin,
^{1,2}A. A. Bogdanov

¹St. Petersburg Clinical Research and Practical Center of Specialized Types of Medical Care (Oncologic),
St. Petersburg, Russia

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

In the century of the fourth industrial revolution, there is a rapid progress of technological developments in medicine. Possibilities of collecting large amounts of digital information and the modern computer capacity growth are reasons for the increased attention to artificial intelligence (AI) and its role in the diagnostics and the prediction of diseases. In the diagnostics, AI aims to model the human intellectual activity, providing assistance to a practicing doctor in the processing of big data. Development of AI can be considered as a way for implementation and ensuring of national political and economic interests in the health care improvement. Lung cancer is on the first position of cancer incidences. This implies that the development and implementation of computed-aided systems for lung cancer diagnostic is very urgent and important. The article presents the results concerning the development of a computed-aided system for the lung nodule detection, which is based on the processing of computed tomography data. Perspectives of the AI application to the lung cancer diagnostics are discussed. There is a few information about a role of Russian developments in this area in foreign and domestic literature.

Key words: artificial intelligence, automated diagnostic system, computed tomography, lung cancer, machine learning.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-3-62-68>

¹ Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-11-00078).

Введение. В настоящее время искусственный интеллект (ИИ) является одним из маркеров прорывного индустриального и информационно-технологического роста в мире. Медицина — одна из самых перспективных точек приложения систем искусственного интеллекта. К числу наиболее применяемых направлений использования ИИ относятся оценка любой цифровой информации с анализом и выводом по ней, поиск скрытых закономерностей в представляемых данных, прогнозирование различных ситуаций [1]. В диагностике применяется машинное обучение (МО) с построением алгоритмов ИИ на имеющихся данных, реализующее решение задачи по типу «supervised learning» (обучение с учителем). В настоящее время имеется ряд публикаций, посвященных эффективности ИИ в диагностике, приближающейся или даже превышающей способности человека. Так, в работе Н. А. Naenssle и соавт. описано, что алгоритм обучения на основе сверточной нейронной сети поставил правильный диагноз меланомы в 95% случаев, тогда как результат анализа 58 профессиональных дерматологов составлял 86,6% [2]. В 2016 г. авторы из Radboud University Medical Center (Нидерланды) представили проект по обнаружению плеврального выпота на рентгенограммах с помощью алгоритма, использующего сверточные нейронные сети. Результаты продемонстрировали высокие показатели чувствительности и специфичности [3]. Для обучающей выборки в данном исследовании было использовано 638 рентгенограмм грудной клетки. Годом позже специалисты университета Томаса Джефферсона (США) под руководством П. Лакхани представили результаты исследования, основанного на алгоритмах глубокого обучения, по распознаванию туберкулеза на рентгенограммах грудной клетки. Для реализации данных алгоритмов были использованы три открытые базы данных по туберкулезу (National Institutes of Health (NIH), Thomas Jefferson University, Belarus Tuberculosis Portal), в целом 685 снимков. Точность автоматизированной системы распознавания туберкулеза составила 96% [4].

В отечественной литературе не имеется достаточного количества сведений, чтобы сделать выводы о месте российских разработок в развитии ИИ в диагностике социально-значимых заболеваний.

Рак легкого (РЛ) является самым распространенным из злокачественных новообразований во всех странах мира [5]. Ежегодно в мире регистрируется около миллиона новых случаев рака легкого, что позволяет ему удерживать первое место среди всех онкологических заболеваний, причем большинство выявляемых случаев приходится на индустриально развитые страны (54%) [6]. РЛ является основной причиной смертности от злокачественных заболеваний.

В России рак легкого также занимает первое место среди онкологических заболеваний, его доля

составляет 12%. В 15% всех случаев у умерших онкологических больных был выставлен диагноз РЛ. Каждая четвертая злокачественная опухоль, выявляемая у мужчин, и каждая двадцатая у женщин являются новообразованиями трахеи, бронхов, легкого [4, 7, 8]. Вот почему одной из перспективных точек приложения развития алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) является диагностика РЛ.

В соответствии с утвержденной указом № 203 от 9 мая 2017 г. Президента РФ Стратегией развития информационного общества (далее Стратегия) [9] развитие ИИ в целом и в медицине в частности, может быть рассмотрено как мера реализации и обеспечения национальных интересов и приоритетов как политической, так и экономической направленности. Опираясь на основные принципы Стратегии, использование алгоритмов автоматизированной диагностики на основе ИИ можно рассматривать в качестве дополнения к работе врача-диагноста как «помощника» врача для улучшения качества оказания медицинской помощи.

В связи с вышеизложенным авторам представляются актуальными разработка и внедрение алгоритма автоматизированной системы диагностики именно рака легкого как социально значимого заболевания.

В настоящее время «золотым стандартом» в диагностике рака легкого является компьютерная томография (КТ), поэтому принято считать КТ-изображения оптимальной основой для построения автоматизированных систем диагностики. Для максимального приближения к «логике» врача при разработке алгоритма ИИ следует выделить две основные задачи: «отделение» новообразования от анатомических структур и дифференциальная диагностика опухолей. В представленной статье предлагается подход, позволяющий решать первую из них: выявлять патологические новообразования в легких.

Цель работы: разработать эффективную автоматизированную систему выявления объемных образований в легких.

Задачи:

- 1) изучить принципы построения алгоритмов ИИ;
- 2) создать базу данных для обучения и тестирования автоматизированной системы диагностики (АСД) рака легкого;
- 3) оценить показатели информативности разработанной системы.

Материалы и методы. Реализация создания автоматизированной системы выявления объемных образований в легких состоит из нескольких этапов: сбора данных, анализа изображения, предварительной обработки (разметки патологических образований), сегментации, сокращение числа ложноположительных случаев.

Сбор данных осуществлялся с помощью использования открытых баз данных LIDC (Lung Image Database Consortium) и LUNA16 (LUNG Nodule Analysis 2016 Challenge) (n=1050 КТ) [10, 11].

Анализ изображений, полученных или предоставленных для консультации в ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о)», осуществлялся тремя рентгенологами. Результаты заключений сопоставлялись с данными морфологического исследования (биопсийный материал). После подтверждения диагноза «рак легкого» изображения отбирались для формирования базы данных ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о)». Формирование базы данных основано на следующих принципах: анонимизация данных, морфологическое подтверждение случаев, разметка патологических находок. После анонимизации (удаления сведений о пациенте на снимках) каждому случаю присваивался код, учитывающий диагноз по МКБ-10.

Разметка объектов на серии компьютерных томограмм осуществлялась с помощью специально разработанной программы MAIA (Medical Artificial Intelligence Assistant), использующей мультипланарные реконструкции для представления об объеме образования (рис. 1).

политехнического университета Петра Великого, который представляет вычислительное поле, объединяющее три суперкомпьютера: «Политехник-РСК Торнадо», «Политехник-РСК ПетаСтрим», «Политехник-NUMA».

С целью уменьшения числа ложноположительных результатов сегментации для определения формы объекта применялся метод хорд (NEOchord) для представления информации о форме (заявка на патент зарегистрирована, № 2018118626, и получено решение о выдаче патента). Метод основан на построении большого числа отрезков (хорд), соединяющих случайные пары точек на поверхности сегментированного образования. Далее строились гистограммы длин хорд, которые являются новым представлением признаков объекта меньшей размерности, подаваемого в автоматизированную систему на вход для обучения по критерию формы анализируемого объекта.

В отечественной и зарубежной литературе не отражены алгоритмы, которые используют метод

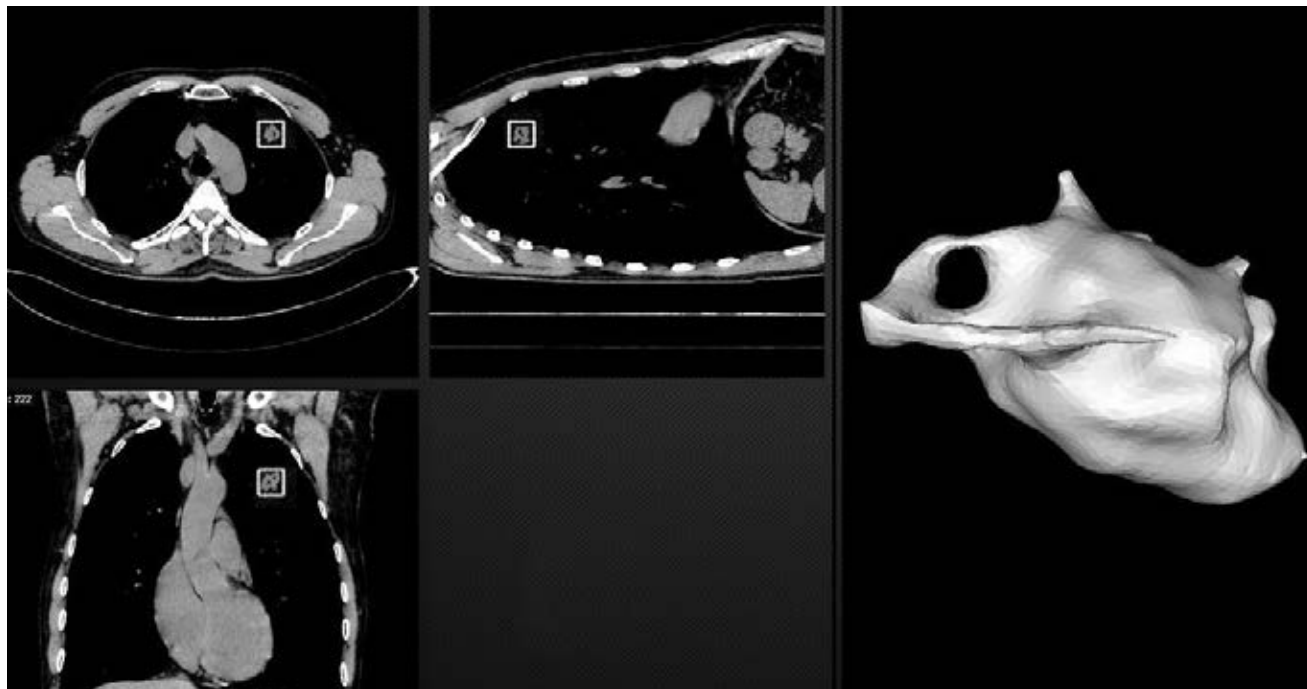


Рис. 1. В соответствии с программой маркировка опухолевых узлов осуществляется на мультипланарных изображениях с автоматической объемной реконструкцией

В соответствии с процедурой сегментации значения пикселей в каждом изображении преобразовывались в значения рентгеновской плотности по шкале Хаунсфилда. Одним из преимуществ алгоритма, по мнению авторов, является его независимость от модели используемого диагностического оборудования. И поэтому программное обеспечение для сегментации не использовало возможности приложений к программному обеспечению каких-либо компьютерных томографов. Обработка изображений для формирования автоматизированной системы выявления объемных образований осуществлялась на базе Суперкомпьютерного центра Санкт-Петербургского

хорд для уменьшения числа ложноположительных случаев. И поэтому его использование в задаче обнаружения новообразований представляет большой интерес [12, 13].

Тестирование системы осуществлялось на проспективном и ретроспективном материале, полученном в ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о)» (n=250 КТ).

Результаты и их обсуждение. В процессе интерпретирования снимков человеком КТ можно выделить структурный (анатомический) и денситометрический анализ [14]. Легочная ткань обладает так называемой естественной контрастностью, поэтому любые объекты с положительными значениями

поглощения рентгеновского излучения легко визуализируются на ее фоне. Сегментация основана на различии рентгеновской плотности изучаемых структур. И поэтому, маскируя пиксели, которые находятся за пределами типичных интервалов для тканей легких, например от -1000 до -320 , мы пытаемся оставить для анализа только легочную ткань. На этом этапе мы маскируем кости, мягкие ткани, которые рассматриваются компьютерной системой как «шум». Затем полученные 2D-фрагменты укладываются в одно трехплоскостное изображение. Мы используем интервал от -60 до 100 значений плотности для реализации сегментации.

Для приближения функционирования автоматизированной системы ИИ к «логике врача» необходимо перевести алгоритм мышления человека на язык МО. Например, для врача не составляет трудности пространственно представить форму объекта. Так, при визуализации в аксиальной плоскости сосуда, ориентированного вдоль вертикальной оси, и шаровидного образования, оба имеют форму круга или эллипса, но при просмотре серий аксиальных сканов протяженность видимости образования сопоставима с его диаметром, а сосуда значительно превышает диаметр. Так как сегментация основана на показателях шкалы Хаунсфилда, в поле зрения могут попадать объекты, совпадающие по плотности с опухолевым узлом, но являющиеся при этом анатомическими объектами (участками сосудов). Основная проблема, которая должна быть решена в этом случае, заключается в том, чтобы отличить патологические и анатомические структуры (узловое шаровидное образование и структуру вытянутой формы). Первой попыткой выразить интерпретацию визуализируемого объекта через цифровое выражение можно считать так называемый пространственный коэффициент, рассчитанный японскими исследователями в 2003 г. Коэффициент представляет собой соотношение максимального аксиального к максимальному вертикальному размеру. Большие цифры пространственного коэффициента указывают на то, что образование плоское и является доброкачественным [15, 16]. Метод хорд (NEOchord) является несравнимо более точной аппроксимацией формы объекта. Он подразумевает построение множества отрезков, соединяющих пары случайных точек на поверхности сегментируемого образования, при этом количество точек зависит от его размера и изменяется в диапазоне от 200 до 10000 (рис. 2).

Метод хорд инвариантен к размеру объектов, их перемещению и повороту. Он устойчив по отношению к «шумам» или искажениям поверхности объекта. Длины нормируются в соответствии с самой длинной хордой, и строится соответствующая гистограмма, являющаяся представлением поверхности образования меньшей размерности. По нашим наблюдениям, гистограммы, соответствующие узловым образованиям и вытянутым структурам (сосу-

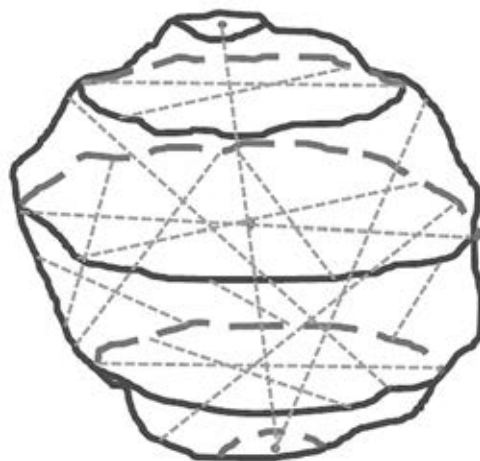


Рис. 2. Схематическое изображение построения хорд при сегментации образования в легком

дам) совершенно различны. Для узловых образований гистограмма имеет более гладкую форму (рис. 3). Таким образом, используемый метод NEOchord позволяет выявить все шаровидные образования в легких. Для вытянутых объектов она представляется менее «структурной» (рис. 4).

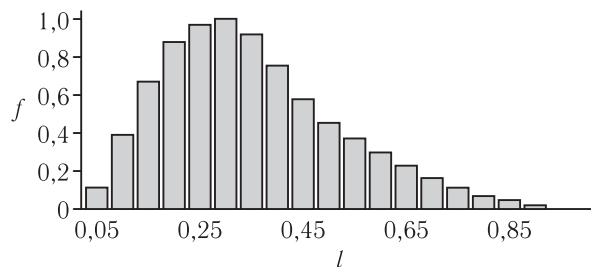


Рис. 3. Гистограмма длин хорд, характеризующая опухолевый узел шаровидной формы

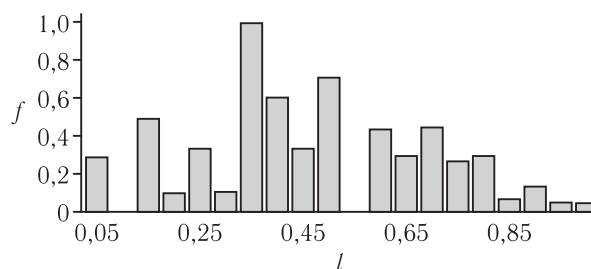


Рис. 4. Гистограмма длин хорд, характеризующая объект вытянутой формы (например, сосуд)

Таким образом, гистограммы длин хорд являются новым представлением признаков о форме выявленного объекта для обучения компьютерной системы.

Вместе с тем основными источниками ошибок являются образования, прилежащие к крупным сосудам, реберной плевре, средостению, диафрагме, что затрудняет процесс сегментации [17]. Показатели информативности системы на основе метода хорд не были удовлетворительными (таблица). Для устранения этого недостатка разработан новый алгоритм сегментации, в соответствии с кото-

Таблица

Показатели информативности метода хорд NEOchord и NEOchord1 (%)

Система	Чувствительность	Специфичность	Точность
NEOchord	75	84	81
NEOchord1	93	97	95

рым легочное поле разбивается на «ячейки» по 30 вокселей. Далее для каждой ячейки строятся три проекции (фронтальная, аксиальная, сагиттальная). Если хотя бы на одной из проекций объект имеет замкнутый контур, то он является кандидатом в анализируемое образование. Кроме того, все множество «образований» разбивается на подмножества с заданным диапазоном их размеров, что также позволяет существенно повысить точность классификации. Для дальнейшего уменьшения ложноположительных случаев было решено добавить в обучающую выборку 100 компьютерных томограмм грудной клетки без патологии (включая перифиссуральные изменения, не являющиеся патологией).

Данные меры по усовершенствованию системы (NEOchord1) позволили улучшить показатели информативности (см. таблицу). Наименьший размер выявленного образования при использовании NEOchord1 составил 2 мм.

Несмотря на высокие показатели информативности разработанной системы в отношении выявления объемных образований в легких, дифференциальная диагностика рака легкого представляет собой более сложную задачу. Это связано с вариабельностью КТ-картины РЛ, которая связана с морфологическим субстратом (аденокарцинома, плоскоклеточный рак и т.д.), а также с типом роста опухоли. Описанные в литературе системы диагностики РЛ учитывают только узловые новообразования с типичной КТ-семиотикой. Вместе с тем при анализе клинического материала Санкт-Петербургского клинического научно-практического онкологического центра оказалось, что классической картиной при КТ обладали лишь 65% РЛ, в 26% случаев изображения КТ соответствовали нескольким заболеваниям, что требовало дополнительных дифференциально-диагностических критериев, в 9% случаев рак легкого был крайне трудно распознаваем по КТ в связи с атипичной визуализационной картиной [18]. В дифференциально-диагностическом ряду в первую очередь мы хотим отметить метастазы опухолей других локализаций (рис. 5). Туберкулез также может иметь схожие с РЛ КТ-признаки (рис. 6).

Таким образом, на данных единичных примерах показано, что схожими признаками на КТ могут обладать различные заболевания. Это еще раз демонстрирует, что стратегии разработки АСД РЛ требуют дальнейшего изучения и усовершенствования. Вследствие этого форма образования далеко не всегда позволяет осуществлять правильную классификацию модели, что существенно ограничивает

использование большинства АСД. Так, например, аденокарцинома со стеелящимся типом роста не имеет границ и узловой структуры (рис. 7).

В связи с этим база данных, формируемая на материале Санкт-Петербургского онкоцентра,

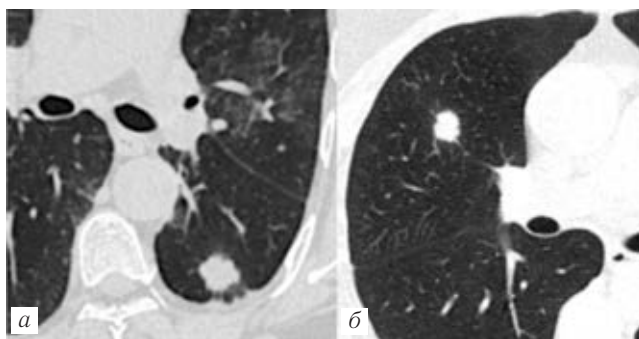


Рис. 5. Метастаз рака молочной железы в левом легком (а); метастаз колоректального рака в правом легком (б). Оба случая иллюстрируют схожесть признаков на КТ с раком легкого (аденокарциномой)



Рис. 6. Образование в нижней доле правого легкого, которое было расценено как рак легкого, однако при морфологическом исследовании определено как туберкулез

включает в себя выделенные образования с метками классов, которые разделены на несколько групп: «типичный» периферический рак легкого (не вызывающий сомнений при интерпретации тремя рентгенологами), «нетипичный» рак легкого (случаи РЛ, подтвержденные при морфологическом исследовании, но имевшие нехарактерные признаки при КТ), «не рак» (случаи, которые могут быть интерпретированы как РЛ, в связи со схожими паттернами при КТ). В базу выделенных образований (БВО) включаются только верифицированные образования, подтвержденные данными операций и гистологическим исследованием. На этом этапе мы не включаем в базу данных центральный рак легкого, рак Панкоста, которые могут быть распознаны по клиническим признакам.

В связи с вышеизложенным планируется усовершенствовать систему таким образом, чтобы учиты-

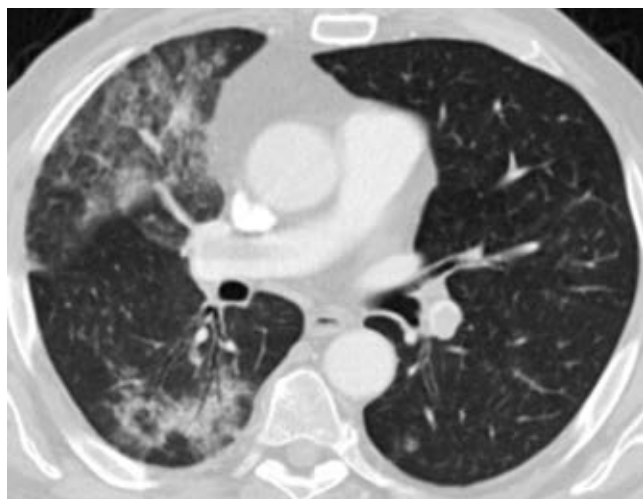


Рис. 7. Компьютерная томограмма грудной клетки: аденокарцинома правого легкого со стелящимся типом роста, опухоль не имеет четких границ, формы узла

вать две особенности сегментированного объекта: внутреннюю структуру образования и его окружение, для возможности дифференциальной диагностики на основе анализа структуры опухолевого узла.

Выводы. Разработанная автоматизированная система высокоинформативна в выявлении патологических объемных образований в легких. Преимущество системы — автономность от любых моделей компьютерных томографов. Обучение системы на данных меньшей размерности возможно благодаря разработанному методу NEOchord, что улучшает эффективность машинного обучения. Использование разработанной системы является эффективным шагом в развитии искусственного интеллекта в диагностике рака легкого. В этой связи планируемое ее усовершенствование позволит учитывать паттерны злокачественности и доброкачественности, не связанные с формой выявленного объекта. Основная сложность обучения АСД РЛ заключается в том, что обучающая выборка не содержит большого количества примеров, альтернативных раку легкого. Это делает использование имеющихся систем проблематичным в реальной медицинской практике. Пополнение базы данных может быть осуществлено благодаря сотрудничеству специализированных учреждений различной направленности.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Гусев А.В., Добридюк С.Л. Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении // *Информационное общество*. 2017. № 4–5. С. 78–93. [Gusev A.V., Dobridnyuk S.L. Iskusstvennyj intellekt v medicine i zdavooxranenii. *Informacionnoe obshchestvo*, 2017, No. 4–5, pp. 78–93 (In Russ.)].
2. Haenssle H.A., Fink C., Schneiderbauer R., Toberer F., Buhl T., Blum A., et al. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists // *Ann. Oncol.* 2018. Aug 1. Vol. 8, No. 29. P. 1836–1842.
3. Maduskar P., Philipsen R.H., Melendez J., Scholten E., Chanda D., Ayles H., Sánchez C., van Ginneken B. Automatic detection of pleural effusion in chest radiographs // *Med. Image Anal.* 2016. No. 28. P. 22–32.
4. Lakhani P., Sundaram B. Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks // *Radiology*. 2017. Vol. 284, No. 2. P. 574–582.
5. Заридзе Д.Г. Эпидемиология и профилактика рака // *Вопросы онкологии*. 2001. № 9. С. 6–14. [Zaridze D.G. Ehpideologiya i profilaktika raka. *Voprosy onkologii*, 2001, No. 9, pp. 6–14 (In Russ.)].
6. Torre L.A., Bray F, Siegel R.L., Ferlay J., Lortet-Tieulent J., Jemal A. Global cancer statistics, 2012 // *CA Cancer J. Clin.* 2015. Vol. 65, No. 2. P. 87–108.
7. *Злокачественные новообразования в России в 2010 г. (заболеваемость и смертность)* / под ред. В. И. Чиссова, В. В. Старинского, Г. В. Петровой. М.: ФГБУ МНИОИ им. П. А. Герцена. 2012. 260 с. [Zlokachestvennyye novoobrazovaniya v Rossii v 2010 g. (zabolevaemost' i smertnost') / pod red. V. I. Chissova, V. V. Starinskogo, G. V. Petrovoj. Moscow: FGBU MNIОI im. P. A. Gercena, 2012. 260 p. (In Russ.)].
8. Нидюлин В.А., Эрдниева Б.В. Об эпидемиологии рака легких // *Мед. вестник Башкортостана*. 2009. Т. 4, № 1. С. 66–71. [Nidyulin V.A., Ehrdniyeva B.V. Ob ehpideologii raka legkih. *Med. vestnik Bashkortostana*, 2009, Vol. 4, No. 1, pp. 66–71 (In Russ.)].
9. Указ Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 о Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы. [Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 9 maya 2017 g. No. 203 o Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017–2030 gody. (In Russ.)].
10. Armato III S.G., McLennan G. et al. The lung image databas econsortium (LIDC) and image database resource initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodules on CT scans // *Medical Physics*. 2011. Vol. 38, No. 2. P. 915–931.
11. Setio A.A., Traverso A., de Bel T., Berens M.S.N. et al. Validation, comparison, and combination of algorithms for automatic detection of pulmonary nodules in computed tomography images: The LUNA16 challenge // *Med. Image Anal.* 2017. Vol. 42. P. 1–13.
12. Smith S.P., Jain A.K. Chord distribution for shape matching // *Computer vision, graphics, and image processing*. 1982. Vol. 2, No. 3. P. 259–271.
13. Уткин Л.В., Рябинин М.Ю., Мелдо А.А. Случайные леса и метод хорд для интеллектуальной диагностики рака легких // *Труды XXI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018)*. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. Т. 2. С. 11–14. [Utkin L.V., Ryabinin M.Yu., Meldo A.A. Sluchajnye lesa i metod hord dlya intellektual'noj diagnostiki raka legkih. *Trudy XXI Mezhdunarodnoj konferencii po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018)*. Saint Petersburg: Izd-vo SPbGENTU «LENTI», 2018, Vol. 2, pp. 11–14 (In Russ.)].
14. Ганцев Ш.Х., Моисеенко В.М., Арсеньев А.И., Чижиков А.В., Моисеенко Ф.В., Мелдо А.А. *Рак легкого*. М.: ГЭОТАР-Медиа,

2017. 223 с. [Gancev Sh.H., Moiseenko V.M., Arsen'ev A.I., Chizhikov A.V., Moiseenko F.V., Meldo A.A. *Rak legkogo*. Moscow: GEHOTAR-Media, 2017. 223 p. (In Russ.)].
15. Takashima S., Sone S., Li F., Maruyama Y., Hasegawa M., Kadoya M. Indeterminate Solitary Pulmonary Nodules Revealed at Population-Based CT Screening of the Lung: Using First Follow-Up Diagnostic CT to Differentiate Benign and Malignant Lesions // *AJR*. 2003. No. 180. P. 1255–1263.
16. Takashima S., Sone S., Li F., Maruyama Y., Hasegawa M., Matsushita T., Takayama F., Kadoya M. Small Solitary Pulmonary Nodules (1 cm) Detected at Population-Based CT Screening for Lung Cancer: Reliable High-Resolution CT Features of Benign Lesions // *AJR*. 2003. No. 180. P. 955–964.
17. Kostis W.J., Reeves A.P., Yankelevitz D.F., Henschke C.I. Three-dimensional segmentation and growth-rate estimation of small pulmonary nodules in helical CT images // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2003. Vol. 22, No. 10. P. 1259–1274.
18. Кобцова Т.В., Мелдо А.А., Хейнштейн В.А. Нетипичные находки в диагностике периферического рака легкого // *Материалы V юбилейного международного конгресса «Кардиоторакальная радиология»*. СПб.: Человек и его здоровье, 2018. С. 52–53. [Кобцова Т.В., Мелдо А.А., Хейнштейн В.А. Нетипичные находки в диагностике периферического рака легкого. *Материалы V юбилейного международного конгресса «Кардиоторакальная радиология»*. Saint Petersburg: Chelovek i ego zdorov'e, 2018, pp. 52–53 (In Russ.)].

Поступила в редакцию: 01.10.2018 г.

Контакт: Мелдо Анна Александровна, anna.meldo@yandex.ru

Сведения об авторах:

Моисеенко Владимир Михайлович — доктор медицинских наук, профессор, директор ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)»; 197758, Санкт-Петербург, п. Песочный, Ленинградская ул., д. 68А;

Мелдо Анна Александровна — кандидат медицинских наук, заведующая отделением лучевой диагностики, врач-рентгенолог ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)»; 197758, Санкт-Петербург, п. Песочный, Ленинградская ул., д. 68А; старший научный сотрудник лаборатории нейросетевых технологий и искусственного интеллекта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29;

Уткин Лев Владимирович — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией нейросетевых технологий и искусственного интеллекта, заведующий кафедрой «Телематика» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29;

Прохоров Иван Юрьевич — врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)»; 197758, Санкт-Петербург, п. Песочный, Ленинградская ул., д. 68А; инженер лаборатории нейросетевых технологий и искусственного интеллекта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29;

Рябинин Михаил Андреевич — инженер лаборатории нейросетевых технологий и искусственного интеллекта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29;

Богданов Алексей Александрович — кандидат физико-математических наук, заместитель директора ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) по науке»; 197758, Санкт-Петербург, п. Песочный, Ленинградская ул., д. 68А; начальник научно-исследовательского отдела «Центр перспективных исследований» СПбПУ Петра Великого ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29.

Уважаемые коллеги,

приглашаем вас принять участие в форуме
Современное контрастирование: «Через видение к пониманию»,
 который состоится в четверг, 20 декабря 2018 г.

Место проведения: конференц-зал выставочного центра Дома Книги и Печати,
 время начала 14:00 (Литейный пр-т, 55, Санкт-Петербург)

БУДЕМ РАДЫ ВАС ВИДЕТЬ!