

Федосеев Михаил Александрович

Мультиспиральная компьютерная томография шаровидных образований легких на основе обработки денситометрических параметров контуров

14.01.13 – лучевая диагностика и лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Томск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

Доктор медицинских наук, профессор **Коновалов Владимир Константинович**

Официальные оппоненты:

Горбунов Николай Алексеевич

Доктор медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра лучевой диагностики, доцент

Величко Светлана Андреевна

Доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» Научно-исследовательский институт онкологии, отделение лучевой диагностики, главный научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова" Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится « ____ » _____ 2018 года в 9.00 часов на заседании диссертационного совета Д002.279.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» по адресу г.Томск, ул.Киевская 111а Научно-исследовательский институт кардиологии

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», адрес сайта <http://tnimc.ru/>

Автореферат разослан " ____ " _____ 2018 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор медицинских наук,
профессор



Ворожцова
Ирина Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

В настоящее время на территории Российской Федерации заболевания органов дыхания наиболее часто встречаются как у детей, так и среди взрослого населения. Следует отметить, что данные заболевания часто являются причиной временной нетрудоспособности, что влечет ухудшение качества жизни и экономический ущерб в масштабах всего государства.

Проблема рака легкого с каждым годом приобретает все большую актуальность. Смертность от рака легкого среди мужчин за последние 20 лет увеличилась на 76%, а среди женского населения – на 135%, что соответствует 55,8 на 100000 населения. Исследования, проведенные в Алтайском крае, показали, что в 2010 году заболеваемость раком легкого среди мужского населения составляла 76,9 и среди женщин 8,4 на 100000 населения, в 2016 году соответственно – 117,8 и 16,79.

Показатель заболеваемости туберкулезом в Российской Федерации в 2015 г. составил 57,7 на 100000 населения, в 2016 г. – 53,3 на 100000 населения. Число детей в возрасте до 14 лет, заболевших активным туберкулезом в Российской Федерации в 2016 г. – 2865, что соответствует 11,3 на 100000 данной возрастной группы. В Алтайском крае в 2016 г. заболеваемость туберкулезом составила 28,3 или 119 детей на 100000 населения.

К числу наиболее распространенных острых инфекционных заболеваний относится внебольничная пневмония. Согласно официальной статистике Центрального научно-исследовательского института организации и информатизации здравоохранения Росздрава, в 2015 г. было зарегистрировано 595211 случаев, что составило 406,9 на 100000 населения, в Алтайском крае – 618,7 на 100000 населения.

Частота диагностических ошибок при различных проявлениях легочных заболеваний составляет от 19 до 89,5%, тогда как исход лечения рака, туберкулеза, пневмонии и других заболева-

ний легких во многом зависит от их диагностики на начальных этапах развития заболевания [Амансахедов Р.Б., 2014; Тлостанова М.С., 2014; Глаголев Н.А., 2016].

Следовательно, необходима разработка и внедрение новых методов диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний легких, в том числе проявляющихся синдромом шаровидного образования, получение новых объективных критериев оценки интроскопических данных с использованием обработки денситометрических параметров контуров при мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).

Цель исследования

Повышение точности компьютерной томографии при определении природы шаровидных образований легких посредством изучения денситометрических данных контуров.

Задачи исследования

1. Определить возможности визуализации поверхности шаровидных образований легких при прицельных трехмерных реконструкциях, оценить выраженность шероховатости поверхности.

2. Определить возможности визуальной оценки контуров шаровидных образований с использованием двухкомпонентной физической модели.

3. Определить диагностические параметры, характеризующие контуры шаровидных образований в динамике с использованием двухкомпонентной физической модели, слабо зависящие от их размеров.

4. Разработать методику количественного определения контуров шаровидного образования легкого, применить искусственный нелинейный нейрон для попарного разделения первичного рака, пневмонии и инфильтративного туберкулеза на основе обработки денситометрических параметров контуров, оценить эффективность дифференциальной диагностики.

Научная новизна

Впервые применена методика оценки контуров шаровидных образований легких в динамике при мультиспиральной компьютерной томографии путем выбора оптимальных алгоритмов обработки изображений с использованием двухкомпонентной физической модели.

Для количественного определения контуров шаровидных образований легких применен разработанный способ прицельной денситометрии, заключающийся в выделении области интереса с включением паренхимы легкого, окружающей шаровидное образование.

Предложен алгоритм определения уровня плотности границы шаровидного образования путем аппроксимации кривых плотностей.

Предложены параметры «энтропия» и «значение максимума нормированной спектральной плотности мощности», слабо зависящих от геометрических размеров шаровидных образований легких для дифференциальной диагностики первичного рака, пневмонии и инфильтративного туберкулеза.

Предложена методика дифференциальной диагностики первичного рака, пневмонии и инфильтративного туберкулеза с использованием искусственного нелинейного нейрона на основе денситометрической обработки контуров, позволяющая разделять нозологические формы «первичный рак – инфильтративный туберкулез» с точностью 82,2%; «первичный рак – пневмония» – 87,2%; «инфильтративный туберкулез – пневмония» – 91,6%.

Теоретическая и практическая значимость

1. Использование прицельной денситометрии разработанной на основе двухкомпонентной физической модели при мультиспиральной компьютерной томографии, позволяет количественно характеризовать контуры шаровидных образований легких.

2. Применение параметров, слабо зависящих от геометрических размеров шаровидных образований легких, позволяет повысить точность анализа.

3. Применение искусственного нелинейного нейрона позволяет повысить точность дифференциальной диагностики при попарном разделении нозологических форм шаровидных образований легких.

Методология и методы исследования

Исследование ретро- и проспективное, рандомизированное, сравнительное, динамическое.

При обследовании больных использовалась мультиспиральная компьютерная томография органов грудной клетки; при постпроцессинговом анализе изображений применялась программа Рентгенолог+, Россия, г Барнаул / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2013613849 от 17.04.2013 г. – Роспатент, 2013.

В работе использована Международная классификация болезней 10 пересмотра.

Чувствительность, специфичность и точность метода оценивались в соответствии с рекомендациями ВОЗ (1992), предложенными для определения показателей диагностической значимости методов визуализации при скрининговых исследованиях.

Алгоритмы расчетов и программное обеспечение для обработки денситометрических параметров ШОЛ разработаны с участием д.т.н., проф. С.Л. Леонова (кафедра технологии автоматизированных производств Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова) и д.ф.-м.н., проф. А.М. Шайдука (кафедра физики и информатики Алтайского государственного медицинского университета).

Примененные современные методы исследования позволяют решать поставленные в работе задачи.

Положения, выносимые на защиту

1. Количественная оценка контуров шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии воз-

можно с применением разработанного способа прицельной денситометрии.

2. Для повышения точности анализа необходимо учитывать значения плотности уровня границы шаровидного образования легкого по их максимальному углу наклона.

3. Необходимо использовать денситометрические параметры контуров шаровидных образований легких оказывающих наибольшее влияние на дифференциальную диагностику первичного рака, пневмонии и инфильтративного туберкулеза.

4. Эффективно применять денситометрическую методику дифференциальной диагностики первичного рака, пневмонии и инфильтративного туберкулеза с использованием искусственно-го нелинейного нейрона.

Степень достоверности

Достоверность определена тем, что структура исследования соответствует поставленным цели и задачам, данные получены у достаточного количества (278 человек) верифицированных групп больных, использовались современные методы диагностики, статистического и математического анализа, позволившие решить поставленные в работе задачи.

Апробация результатов

Основные результаты исследования были представлены на I Онкологическом форуме Сибирского Федерального округа (Барнаул, 2017), краевой научно-практической конференции врачей лучевой диагностики «Актуальные вопросы лучевой диагностики» (Барнаул, 2016), Российской научно-практической конференции с международным участием «Высокие технологии в онкологической практике» (Барнаул, 2016), I Итоговой конференции научного общества молодых ученых, инноваторов и студентов Алтайского государственного медицинского университета (Барнаул, 2016), Проблемы и решения в Респираторной медицине (Барнаул, 2016), XV Международной научно-технической конференции «Интеллектуальный потенциал ученых России и СНГ» (Барнаул, 2015), VI Международной научно-практической

конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» (Белгород, 2014).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 3 работы в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ для публикации материалов диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук.

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие на всех этапах исследования: разработка дизайна исследования, сбор материала, анализ и статистическая обработка полученных результатов, их обобщение и интерпретация.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 125 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов и библиографического указателя. Работа содержит 16 таблиц и 52 рисунка. Библиографический указатель включает 157 источников (109 отечественных и 48 зарубежных).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

В основу работы положены данные о 3287 больных, находившихся на обследовании и лечении в КГБУЗ «Диагностический центр Алтайского края», КГБУЗ «Городская больница №1», КГБУЗ «Городская больница №5», КГКУЗ «Алтайский противотуберкулезный диспансер», КГБУЗ «Алтайский краевой онкологический диспансер» за период с 2011 года по 2015 год.

У всех больных была проведена МСКТ органов грудной клетки в КГБУЗ «Диагностический центр Алтайского края».

Из компьютерных баз данных выше указанных ЛПУ было отобрано 278 больных с верифицированными диагнозами.

В результате были сформированы три группы больных: первая группа – больные первичным раком легкого; вторая группа –

больные инфильтративным туберкулезом; третья группа – больные пневмонией.

Критерии включения в исследование лиц первой группы: наличие гистологически или цитологически верифицированного диагноза «первичный рак легкого». Критерии исключения: отсутствие гистологически или цитологически верифицированного диагноза «первичный рак легкого».

Критерии включения в исследование лиц второй группы: наличие бактериологически верифицированного диагноза «инфильтративный туберкулез». Критерии исключения: отсутствие бактериологически верифицированного диагноза «инфильтративный туберкулез».

Критерии включения в исследование лиц третьей группы: наличие бактериологически или клинически верифицированного диагноза «пневмония». Критерии исключения: отсутствие бактериологически или клинически верифицированного диагноза «пневмония».

Общие критерии исключения для всех групп: наличие динамической нерезкости при МСКТ; толщина среза свыше 2 мм; применение «жесткого» ядра конволюции.

У больных сформированных групп преобладал первичный рак легкого (44,3%); инфильтративный туберкулез и пневмония распределились в соотношении 1,4:1 (32,7% и 23,0%) (таблица 1). Мужчин было 194 (69,8%), женщин – 84 (30,2%).

Таблица 1.

Распределение больных по формам заболеваний

Формы заболеваний	Число больных	%	
		М	±m
Первичный рак в том числе:			
а) центральный	78	28,1	2,7
б) периферический	45	16,2	3,7
Инфильтративный туберкулез	91	32,7	2,8
Пневмония	64	23,0	2,5
Всего:	278	100,0	

Клинические проявления основного легочного процесса и его осложнений в виде бронхолегочного синдрома определялись у 206 (74,1%) больных. Явления интоксикации имели место у 154 (55,4%) больных. Осложнения основного процесса в виде эндобронхитов, кровохарканий и кровотечений имелись у 83 (29,9%) пациентов. Изменения в картине крови были обнаружены у 237 (85,2%) больных.

У подавляющего количества больных первичным раком легкого ШОЛ были одиночными – 116 (94,3%). У 55 (60,4%) больных инфильтративным туберкулезом и у 59 (92,2%) больных пневмонией отмечались множественные ШОЛ.

Из сопутствующих заболеваний у больных первичным раком и инфильтративным туберкулезом преобладали заболевания сердечно-сосудистой системы – 30 (24,4%) и 11 (12,1%) случаев соответственно. У больных пневмонией преобладали заболевания желудочно-кишечного тракта – 13 (20,3%) наблюдений.

МСКТ осуществлялась на компьютерных томографах Aquillion 64 и Asteion 4 (Toshiba Medical Systems) в фазе максимального вдоха. Применялась мультипланарная реконструкция в стандартных проекциях и прицельная 3D реконструкция.

При постпроцессинговом анализе применялась программа Рентгенолог+, позволяющая проводить прямую выборку значений пикселей в табличном виде в выделенных зонах интереса из файлов в формате DICOM.

Цифровые данные о состоянии ШОЛ обработаны с использованием табличного процессора Microsoft Excel, где применялись следующие функции: СРЗНАЧ (средняя арифметическая, M); СТАНДОТКЛОНП (среднее квадратическое отклонение, σ); ДОВЕРИТ (ошибка средней арифметической, $\pm m$); КОРРЕЛ (коэффициент корреляции, r). Для большей наглядности результаты исследований представляли в виде диаграмм. Границы средних величин и достоверность их различий определены с помощью критерия Стьюдента (t) с вероятностью безошибочно-

го прогноза 95% ($p < 0,05$). Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета Statistica 10.0. Параметры, прошедшие тест на нормальное распределение, анализировались с помощью t-критерия Стьюдента. Параметры, не прошедшие тест на нормальное распределение, анализировались методом непараметрической статистики Краскела-Уоллиса в виде медианы Me , 1-го и 3-го квартилей ($Q1$; $Q3$). Результаты представлены в виде $M \pm m$, где M – выборочное среднее, m – ошибка среднего, S – сумма всех значений показателя.

Чувствительность, специфичность и точность метода оценивались в соответствии с рекомендациями ВОЗ (1992).

Роль реконструктивных методов при анализе контуров шаровидных образований легких

Компьютерно-томографическая семиотика качественных характеристик поверхности шаровидных образований легких при прицельных трехмерных реконструкциях

С целью повышения точности лучевой диагностики ШОЛ путем разработки компьютерно-томографической семиотики качественных характеристик их поверхности применена прицельная 3D реконструкция у 278 больных, осуществлявшаяся с использованием программы 3D Fly Through, при которой исключали ткани, окружающие ШОЛ на расстоянии 5 – 10 мм от наружных границ. Рассматривали поверхность ШОЛ в шести плоскостях соответственно граням вырезанного куба.

За выражено шероховатую поверхность ШОЛ принималась такая поверхность, когда количество выступов и углублений в области интереса размерностью 20×20 пикселей было десять и более во всех шести рассматриваемых плоскостях (рисунок 1).

При первичном центральном раке легкого определялось статистически значимое преобладание количества больных с выражено шероховатой поверхностью ШОЛ над слабо шероховатой поверхностью ($p=0,001$). При первичном периферическом раке легкого определялось статистически значимое преобладание ко-

личества больных с выражено шероховатой поверхностью ШОЛ ($p=0,001$).

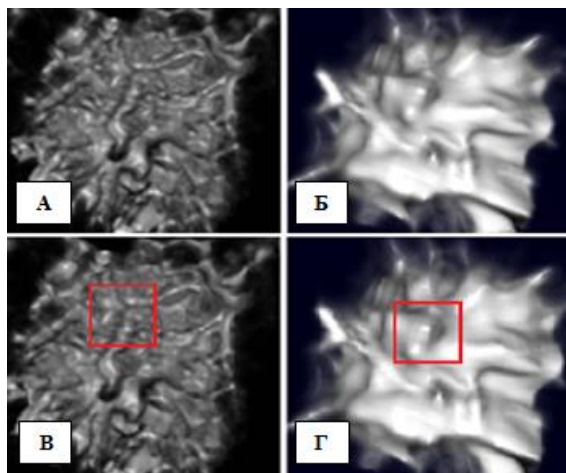


Рисунок 1. Виды состояния поверхности ШОЛ. А – выражено шероховатая поверхность; Б – слабо шероховатая поверхность; В – Г области интереса размерностью 20×20 пикселей.

При инфильтративном туберкулезе определялось статистически значимое преобладание количества больных со слабо шероховатой поверхностью ШОЛ ($p=0,001$). При пневмонии определялось статистически значимое преобладание количества больных со слабо шероховатой поверхностью ШОЛ ($p=0,001$).

Оценка контуров шаровидных образований легких в динамике при мультиспиральной компьютерной томографии на основе диффузионной двухкомпонентной физической модели.

Качественная характеристика контуров

Одной из важных задач явилось изучение шаровидных образований легких в динамике при МСКТ у одних и тех же больных через равные интервалы времени для выбора диагностических параметров оценки контуров ШОЛ не зависящих от их размера.

С целью разработки методики оценки контуров ШОЛ в динамике при МСКТ путем выбора оптимальных алгоритмов об-

работки изображений разработана двухкомпонентная физическая модель, состоящая из 4-х последовательно расположенных прозрачных полистироловых стаканов с внешним диаметром 37 мм. Стаканы на три четверти объема заполняли расплавленным при температуре 60 °С БТН-агаром. После застывания агар-агара при комнатной температуре строго по центру стакана формировали канал на всю высоту застывшей среды.

Сформированный канал заполняли расплавленным при температуре 60 °С 5% кровавым агаром в смеси с 2% водорастворимым рентгеновским контрастом гипак. Визуально оценивали качество заполнения канала по четкости границ двух сред (рисунок 2).



Рисунок 2. Фотография стакана с заполненным контрастной массой каналом (вид сверху). 1 – стенки стакана; 2 – агар-агар; 3 – канал.

Эксперименты с определением времени распространения контраста в агар-агар, проведенные нами ранее, позволили определить наиболее оптимальный интервал для наблюдения диффузии в пределах 24 часов. Наблюдавшаяся при этом визуальной зона распространения эритроцитарной массы, надежно отмечалась после заполнения центрального канала с интервалом 3 часа.

Последовательно заполняли каналы контрастной массой в 4-х стаканах с интервалом 3 часа, получив, таким образом, двухкомпонентную физическую модель. Через 24 часа после запол-

нения канала первого стакана была проведена МСКТ (рисунок 3).

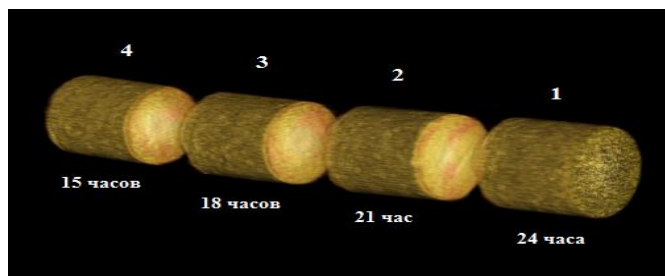


Рисунок 3. Мультиспиральная компьютерная томограмма двухкомпонентной физической модели, 3D рендеринг. Примечание – на врезках показаны временные интервалы от момента заполнения первого стакана.

При визуальном анализе срезов двухкомпонентной физической модели уровень электронного окна WL и ширину электронного окна WW устанавливали исходя из условий наилучшего изучения определенной группы тканей.

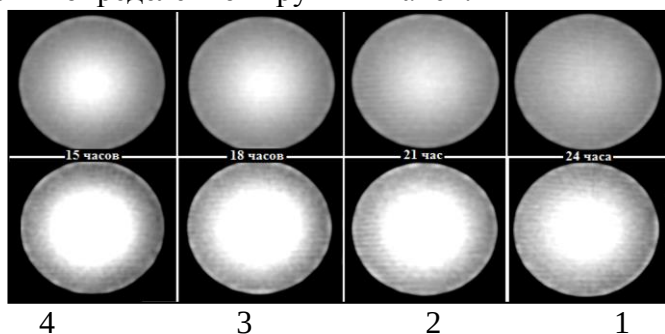


Рисунок 5. Компьютерные томограммы двухкомпонентной физической модели. Верхний ряд: WL40; WW380. Нижний ряд: WL40; WW167. 1,2,3,4 – стаканы.

Изучали особенности изображений с уровнем электронного окна WL = 217 при ширине электронного окна WW = 400 и WL = 217 WW = 500, при WL = 40 и WW = 380 и WL = 40, WW = 167, при WL = 100 и WL = минус 100 и WW = 380.

Границы распределения контраста в агаре на изображениях различались как через разные временные интервалы, так и при разных параметрах электронных окон. Установлено, что визуальная оценка границ шаровидных образований зависит от выбора уровня электронного окна WL и ширины электронного окна WW, визуальная оценка является операторозависимой процедурой, необходима разработка и применение количественных методик их анализа.

Возможности математического определения контуров модели шаровидных образований легких

С целью выяснения возможностей математического определения контуров модели ШОЛ, проведена обработка данных сканирования двухкомпонентной физической модели.

При сравнительном анализе средних значений плотностей пикселей с размерностью области интереса 110×1 установлено их статистически значимое снижение за период между 15 и 18 часами, 15 и 21 часом, 15 и 24 часами экспозиции контрастной массы в агаре ($p=0,001$). Установлено статистически значимое снижение средних значений плотностей пикселей за период между 18 часами и 21 часом ($p=0,001$); между 18 часами и 24 часами ($p=0,001$); между 21 часом и 24 часами ($p=0,001$).

Проведен анализ средних значений плотностей пикселей с размерностью области интереса 30×1 , восходящих отделов графиков, соответствующих границам ШОЛ с использованием линейной аппроксимации ($y; R^2$).

При сравнительном анализе средних значений плотностей пикселей размерностью области интереса 30×1 установлено, что за период между 15 и 18 часами экспозиции контрастной массы в агаре плотность пикселей статистически значимо не изменилась ($p=0,5$). Через 21 час экспозиции плотность пикселей статистически значимо не изменилась ($p=0,5$). Через 24 часа экспозиции установлено статистически значимое снижение плотности пикселей ($p=0,05$). За период между 18 часами и 21 часом плот-

ность пикселей статистически значимо не изменилась ($p=0,5$). За период между 18 часами и 24 часом отмечено статистически значимое снижение плотности пикселей ($p=0,05$). За период между 24 часовой и 21 часовой экспозицией контрастной массы в агаре отмечено статистически значимое снижение плотности пикселей ($p=0,05$).

Линейная аппроксимация y ; R^2 имеет существенно бóльшую чувствительность в определении контуров инфильтративных процессов, ее применение при МСКТ позволяет количественно оценивать контуры инфильтративных процессов в динамике.

Выбор оптимальных параметров для количественной оценки контуров физической модели шаровидного образования легкого

С целью нахождения диагностических параметров, характеризующих контуры ШОЛ, слабо зависящих от их размеров, проведено исследование физической модели шаровидного образования легких. Контуры изображения модели ШОЛ в различные временные интервалы, представлены на рисунке 7.

Поскольку каждый из четырех контуров обусловлен одним физическим процессом, можно полагать, что некоторые количественные характеристики контуров могут быть инвариантны относительно линейного размера физической модели ШОЛ.

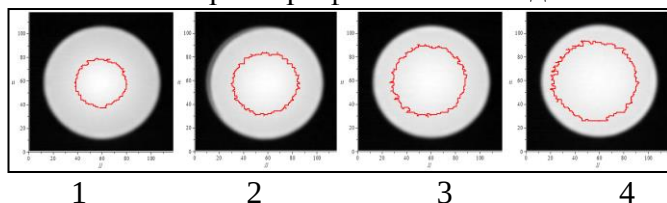


Рисунок 7. Компьютерные томограммы двухкомпонентной физической модели. 1, 2, 3, 4 – контуры диффузии в различные временные интервалы (15, 18, 21, 24 часа соответственно).

При использовании этих характеристик как диагностических, последние будут определяться видом контура, а не его геометрическим размером.

Мерами сложности контура были приняты: модифицированная информационная энтропия Шеннона $H(S(k))$ для k гармоник нормированной спектральной плотности мощности $S(k)$ колебаний длины радиус-вектора контура $R(n)$; количество локальных максимумов L сигнатуры радиус-вектора $R(n)$; значение максимума нормированной спектральной плотности мощности $S(k)$; произведение (мультиплетность) энтропии $H(S)$ и количества локальных максимумов L .

При статистическом анализе исследуемых параметров «количество локальных максимумов» и «мультиплетность» выявлены значимые различия в зависимости от времени экспозиции. Исследуемые параметры существенно зависят от времени экспозиции, а, следовательно, и от геометрических размеров шаровидных образований.

При исследуемых параметрах «энтропия» и «значение максимума нормированной спектральной плотности мощности» не выявлено значимых различий от времени экспозиции.

Выбор количественных критериев определения уровня границы контуров шаровидных образований легких

С целью определения количественных критериев контуров ШОЛ применен способ амплитудной дискриминации при цифровой обработке компьютерных томограмм.

Изучали плотности пикселей, характеризующие границы ШОЛ и окружающих тканей легкого (рисунок 8).

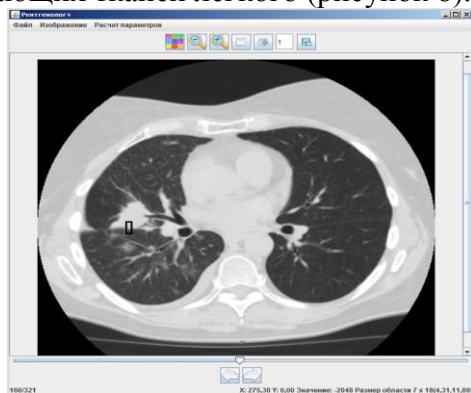


Рисунок 8. Трансверзальный срез органов грудной полости. Больная, 54 года. Центральный рак в латеральном сегменте средней доли правого легкого. Установленная область интереса 18×7 пикселей.

Анализировали изменения денситометрической плотности рядов пикселей в установленной области интереса при первичном центральном и периферическом раке легкого, инфильтративном туберкулезе и пневмонии.

Анализ полученных денситометрических данных позволил сделать вывод, что значения плотности уровня для границы ШОЛ можно вычислить по их максимальному углу наклона, который определяется по разности соседних значений плотностей пикселей.

Дифференциальная диагностика шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии на основе обработки

денситометрических параметров контуров

Анализируемые параметры и алгоритм дифференциальной диагностики шаровидных образований легких

Проведен статистический анализ денситометрических показателей контуров ШОЛ, полученных путем прицельной денситометрии.

При помощи программы Рентгенолог+ устанавливали область интереса с включением паренхимы легкого, окружающей ШОЛ (рисунок 10).

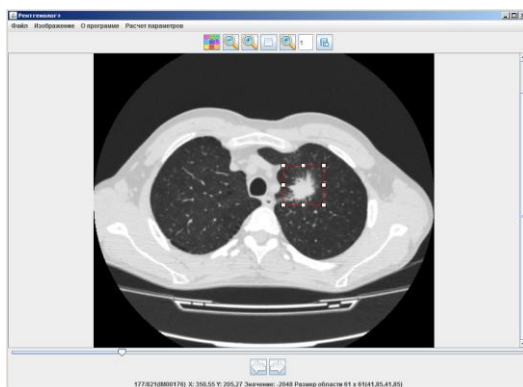


Рисунок 10. Трансверсальный срез органов грудной полости. Больная, 64 года. Центральный рак в верхушечном сегменте верхней доли левого легкого. Установленная область интереса 61×61 пикселей.

Составлен перечень анализируемых параметров для дифференциальной диагностики ШОЛ при анализе их контуров: энтропия; значение максимума нормированной спектральной плотности мощности.

Алгоритм дифференциальной диагностики ШОЛ заключается в построении математической зависимости для разделения нозологий на группы в соответствии со значениями анализируемых параметров.

Для организации дифференциальной диагностики ШОЛ у нового пациента необходимо определить параметры и изобразить положение новой точки на плоскости. На рисунке 11 эта точка обозначена символом ★. Очевидно, что заболевание у нового пациента с высокой долей вероятности необходимо отнести к нозологии 2.

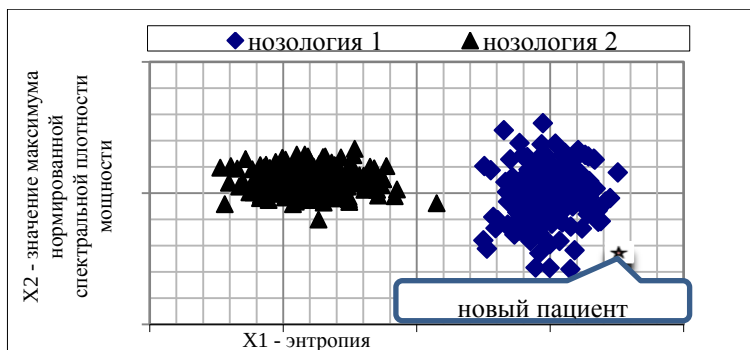


Рисунок 11. Значения анализируемых параметров для нового пациента.

Дифференциальная диагностика шаровидных образований легких на основе использования искусственного нейрона

В работе для попарного разделения нозологий использовался нелинейный нейрон (Y) (рисунок 12), внутренняя структура которого описывается зависимостями:

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-af}} \quad (1)$$

$$f = b_0 + \sum_{i=1}^6 b_i x_i + \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 b_{ij} x_i x_j$$

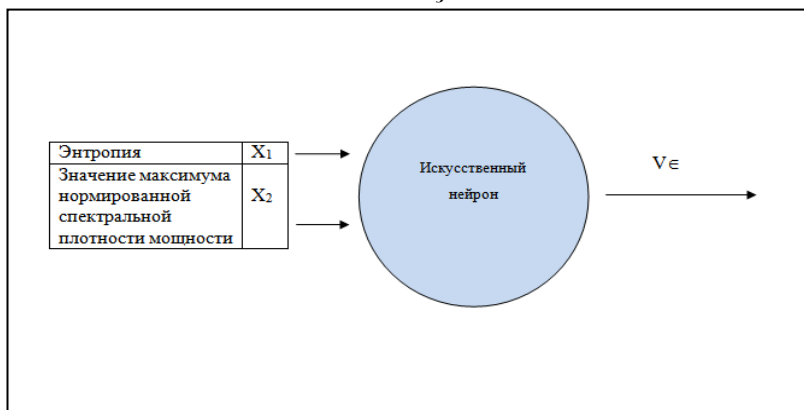


Рисунок 12. Схема искусственного нейрона.

Для каждой пары нозологий производилось обучение нейрона (расчет коэффициентов b_i). Разделение нозологий «первич-

ный рак – инфильтративный туберкулез» показано на рисунке 13. По оси абсцисс отложен параметр V – сравнительная характеристика нозологий. При обучении нейрона полагалось, что V=0 соответствует нозологии «инфильтративный туберкулез», а V=1 – нозологии «первичный рак». По оси ординат отложена частость $m_i = \frac{n_i}{n}$, где n_i – количество пациентов из базы, попавших с соответствующим интервалом значений.

Анализ гистограммы показывает, что разделение нозологий произошло. В области $V < 0,5$ находится 88,6% пациентов с верифицированным диагнозом «инфильтративный туберкулез», а в области $V > 0,5$ – 89% пациентов с верифицированным диагнозом «первичный рак».

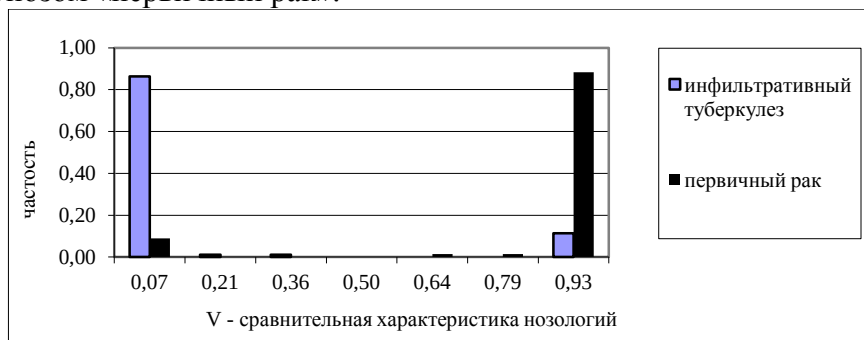


Рисунок 13. Гистограмма разделения нозологий «первичный рак» и «инфильтративный туберкулез».

В качестве примера приводим следующее наблюдение:

Больной, 32 года. Выявлен при профилактической флюорографии. Диагноз при поступлении в клинику: «Периферический рак? Туберкулома? верхней доли правого легкого». На цифровых флюорограммах в передней прямой и задней по Флейшнеру проекциях справа в переднем сегменте верхней доли определяется тень овальной формы с нечеткими, неровными контурами, гомогенной структуры размером 3,5×3,0 см, имеется «дорожка»

лимфангита к корню. Лимфатические узлы бронхопульмональной группы справа увеличены (рисунок 43).

При мультиспиральной компьютерной томографии справа в переднем сегменте верхней доли имеется шаровидное образование неправильной формы размером $37,0 \times 34,0 \times 33,0$ мм, однородной структуры, с полициклическими контурами, инфильтративной дорожкой к паракостальной плевре. Бронхопульмональные лимфатические узлы справа увеличены до 13,0 мм (рисунок 44).

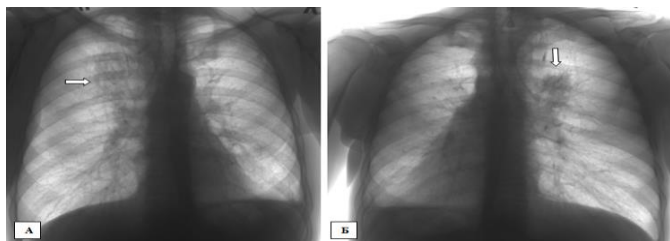


Рисунок 16. Цифровые флюорограммы органов грудной клетки в передней прямой (А) и задней по Флейшнеру (Б) проекциях. Больной, 32 года.

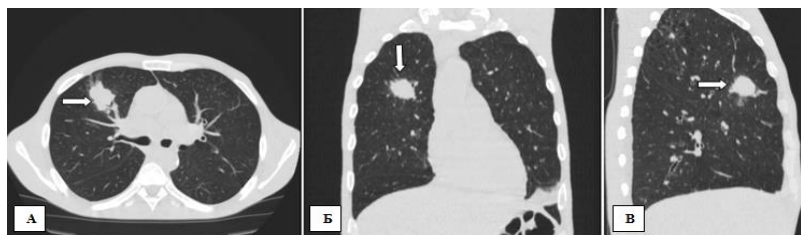


Рисунок 17. Трансверсальный срез (А) и мультипланарные реконструкции компьютерных томограмм в прямой (Б) и правой боковой (В) проекциях органов грудной клетки. Больной, 32 года.

Заключение после МСКТ: «Учитывая полициклические контуры шаровидного образования, наличие инфильтративной дорожки к плевре, увеличение регионарных лимфатических узлов, больше данных за опухолевый процесс».

Выполнена прицельная денситометрия ШОЛ, проведен анализ контуров по разработанному способу. Статистический анализ полученных данных показал распределение денситометрических параметров, характерное для инфильтративного туберкулеза.

Обработка данных с помощью искусственного нейрона «первичный рак – инфильтративный туберкулез» выдала значение $V=0,011$, что с высокой достоверностью свидетельствовало о диагнозе «инфильтративный туберкулез». Искусственный нейрон «инфильтративный туберкулез – пневмония» также выдал значение $V=0,00$, что подтверждало диагноз «инфильтративный туберкулез». Искусственный нейрон «первичный рак – пневмония» выдал значение $V=0,001$, что надежно исключало диагноз «первичный рак».

Больной был направлен в стационар, где после углубленного клинического исследования, обнаружения в лаважной жидкости микобактерий туберкулеза был установлен диагноз «Инфильтративный туберкулез верхней доли правого легкого».

Прицельная денситометрия ШОЛ с проведенным анализом контуров по разработанному способу у больного позволила исключить первичный рак легкого. Данное наблюдение демонстрирует распределение денситометрических параметров, характерное для инфильтративного туберкулеза.

Эффективность дифференциальной диагностики шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии на основе многомерной обработки денситометрических параметров

При оценке эффективности метода анализировались истинно положительные результаты, истинно отрицательные результаты, ложноотрицательные результаты, ложноположительные результаты.

Проведен сравнительный анализ верифицированных диагнозов с направительными рентгенологическими заключениями.

Осуществляли попарное сопоставление результатов денситометрии ШОЛ.

Дифференциальная диагностика ШОЛ при МСКТ на основе обработки денситометрических параметров контуров позволила получить разделение нозологий «первичный рак – инфильтративный туберкулез» в 82,2% случаев, «первичный рак – пневмония» в 87,2%, «инфильтративный туберкулез – пневмония» в 91,6% наблюдений.

Выводы

1. Прицельные трехмерные реконструкции шаровидных образований легких позволяют визуализировать их поверхность в шести плоскостях, оценить выраженность шероховатости поверхности. Установлено, что при первичном центральном и периферическом раке легкого определялось статистически значимое преобладание количества больных с выражено шероховатой поверхностью шаровидных образований легких ($p=0,001$), тогда как при инфильтративном туберкулезе и пневмонии преобладали больные со слабо шероховатой поверхностью шаровидных образований легких ($p=0,001$).

2. При нечетких, размытых границах шаровидных образований с использованием двухкомпонентной физической модели визуальная оценка контуров является операторозависимой процедурой. Доказана необходимость количественной оценки состояния контуров шаровидных образований легких для объективизации патологического процесса.

3. Доказано, что параметры «энтропия» и «значение максимума нормированной спектральной плотности мощности» слабо зависят от геометрических размеров шаровидных образований и могут быть использованы для дифференциальной диагностики при определении формы и фазы заболевания.

4. Разработанная методика количественного определения контуров шаровидного образования легкого с применением искусственного нелинейного нейрона для попарного разделения шаровидных образований легких на основе обработки денсито-

метрических параметров позволяет получить разделение нозологических форм «первичный рак – инфильтративный туберкулез» с точностью 82,2%; «первичный рак – пневмония» – 87,2%; «инфильтративный туберкулез – пневмония» – 91,6%.

Практические рекомендации

1. При мультиспиральной компьютерной томографии органов грудной полости целесообразно применять прицельные трехмерные реконструкции, позволяющие оценить выраженность шероховатости поверхности.

2. Для повышения точности оценки контуров шаровидных образований легких рекомендуется использовать способ прицельной денситометрии, дающий возможность определить количественные критерии контуров ШОЛ.

3. Для попарного разделения нозологических форм шаровидных образований легких: «первичный рак – инфильтративный туберкулез» с точностью 82,2%; «первичный рак – пневмония» – 87,2%; «инфильтративный туберкулез – пневмония» – 91,6% на основе обработки денситометрических параметров контуров рекомендуется применять искусственный нелинейный нейрон.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Коновалов В.К. Инновационная технология денситометрического анализа шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии / В.К. Коновалов, С.Л. Леонов, А.Е. Исаков, О.И. Ворона, М.В. Казанцев, М.Н. Лобанов, В.Г. Колмогоров, А.М. Шайдук, **М.А. Федосеев**, О.В. Борисенко, В.В. Федоров, Я.Н. Шойхет// Вестник алтайской науки. – 2014. – №4. – С. 251-259.

2. Коновалов В.К. Тканевой денситометрический анализ шаровидных образований легких на основе системы искусственного интеллекта при мультиспиральной компьютерной томографии / В.К. Коновалов, С.Л. Леонов, А.М. Шайдук, М.Н. Лобанов, В.Г. Колмогоров, **М.А. Федосеев**, О.В. Борисенко, Ю.С. Модалова, А.Е. Исаков, О.И. Ворона, М.В. Казанцев, В.В. Федоров, Я.Н.

Шойхет // Российский онкологический журнал. – 2015. – №5. – С 8 – 13.

3. Колмогоров В.Г. Особенности динамической оценки контуров шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии / В.Г. Колмогоров, И.В. Молодкин, В.К. Коновалов, А.М. Шайдук, С.А. Останин, С.Л. Леонов, О.В. Борисенко, **М.А. Федосеев**, Ю.С. Модалова // Бюллетень сибирской медицины – 2017. – 16 (2). – С. 136 – 145.

Статьи, тезисы, материалы конференций

4. Коновалов В.К. Технология денситометрического анализа шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии / В.К. Коновалов, С.Л. Леонов, А.М. Шайдук, В.В. Федоров, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, Д.Ю. Козлов, С.А. Останин, Ю.А. Шевчук, А.А. Домбровский, А.Е. Исаков, Г.А. Манатова, В.Ф. Сарапкин, М.А. Федосеев, О.В. Борисенко, А.Е. Цеймах, И.А. Сокол, О.И. Ворона, М.В. Казанцев, Я.Н. Шойхет // Проблемы клинической медицины. – 2014. – №3-4(32). – С. 28-40.

5. Коновалов В.К. Применение объемной реконструкции при изучении качественных характеристик поверхности шаровидных образований легких / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, М.А. Федосеев // Актуальные проблемы деятельности консультативно-диагностических центров. Материалы ежегодной конференции ДиаМА.– Ростов-на-Дону. – 2015. – С. 232-233.

6. Коновалов В.К. Оценка инфильтративных процессов в гомогенной среде на основе экспериментальной физической модели / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. 73 – 74.

7. Коновалов В.К. Селективная денситометрия шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томо-

графии / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. 72 – 73.

8. Коновалов В.К. Прицельная 3D реконструкция при изучении качественных характеристик поверхности шаровидных образований легких / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. 71 – 72.

9. Коновалов В.К. Оптимизация количественной компьютерно-томографической оценки инфильтративных процессов на основе экспериментальной физической модели / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. 70 – 71.

10. Коновалов В.К. Денситометрическая диагностика шаровидных образований легких с использованием искусственного нейрона / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. 69-70.

11. Коновалов В.К. 3D-реконструкция при топографической мультиспиральной компьютерно-томографической диагностике шаровидных образований легких / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. – 66 – 67.

12. Коновалов В.К. / Использование ядра конволюции при компьютерной томографии у больного пневмонией // В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Инновационные подходы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2015. – С. 65 – 66.
13. Коновалов В.К. Применение ядра конволюции при компьютерной томографии у больного пневмонией / В.К. Коновалов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2015. – С. 88 – 95.
14. Коновалов В.К. Оптимизация количественной компьютернотомографической оценки инфильтративных процессов на основе экспериментальной физической модели / В.К. Коновалов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2015. – С. 80 – 88.
15. Коновалов В.К. Оптимизация качественной оценки инфильтративных процессов на основе экспериментальной физической модели при компьютерной томографии / В.К. Коновалов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2015. – С. 71 – 80.
16. Коновалов В.К. Денситометрический анализ шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии / В.К. Коновалов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2015. – С. 53 – 71.

17. Коновалов В.К. Оценка инфильтративных процессов в гомогенной среде на основе экспериментальной физической модели / В.К. Коновалов, М.Н. Лобанов, В.Г. Колмогоров, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Российский онкологический журнал. – 2015. – №4. – С. 27 – 28.
18. Коновалов В.К. Денситометрическая диагностика шаровидных образований легких с использованием искусственного нейрона / В.К. Коновалов, М.Н. Лобанов, В.Г. Колмогоров, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Российский онкологический журнал. – 2015. – №4. – С. 26 – 27.
19. Коновалов В.К. Использование ядра конволюции при компьютерной томографии у больного пневмонией / В.К. Коновалов, М.Н. Лобанов, В.Г. Колмогоров, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Российский онкологический журнал. – 2015. – №4. – С. 25 – 26.
20. Федосеев М.А. Перспективы денситометрического анализа шаровидных образований легких при их дифференциальной диагностики / М.А. Федосеев, В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов // Актуальные проблемы деятельности консультативно-диагностических центров. Материалы ежегодной конференции ДиаМА. – Воронеж. – 2016. – С. 181.
21. Федосеев М.А. Денситометрический анализ шаровидных образований легких при компьютерной томографии с использованием системы искусственного интеллекта / М.А. Федосеев, В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.Н. Лобанов, С.Л. Леонов, А.М. Шайдук, О.В. Борисенко, Ю.С. Модалова // Евразийский онкологический журнал (том 4, №2). – 2016. – С. 582-583.
22. Коновалов В.К. Денситометрический анализ шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.А. Федосеев, О.В. Борисенко, Ю.С. Модалова // Сборник научных трудов по лучевой диагностике, посвященный 120-летию открытия рентгеновских лучей (выпуск №3). – 2016. – С. 101-105.
23. Коновалов В.К. Систематизация количественной

компьютерно-томографической оценки инфильтративных процессов на основе экспериментальной физической модели / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.А. Федосеев, О.В. Борисенко, Ю.С. Модалова //

Сборник научных трудов по лучевой диагностике, посвященный 120-летию открытия рентгеновских лучей (выпуск №3). – 2016. – С. 95-101.

24. Коновалов В.К. Модификация выборки инфильтративных процессов на основе экспериментальной физической модели при компьютерной томографии / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.А. Федосеев, О.В. Борисенко, Ю.С. Модалова // Сборник научных трудов по лучевой диагностике, посвященный 120-летию открытия рентгеновских лучей (выпуск №3). – 2016. – С. 90 – 95.

25. Коновалов В.К. Матрица конволюции при обработке компьютерных томограмм у больного пневмонией / В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, М.А. Федосеев, О.В. Борисенко, Ю.С. Модалова // Сборник научных трудов по лучевой диагностике, посвященный 120-летию открытия рентгеновских лучей (выпуск №3). – 2016. – С. 85 – 90.

26. Федосеев М.А. Количественная оценка инфильтративных процессов на основе экспериментальной физической модели при компьютерной томографии легких / М.А. Федосеев, В.К. Коновалов, В.Г. Колмогоров, О.В. Борисенко // Материалы IX Съезда онкологов России. – Уфа. – 2017. – С. 197.

27. Коновалов В.К. Постпроцессинговый анализ шаровидных образований легких при мультиспиральной компьютерной томографии / В.К. Коновалов, О.В. Борисенко, М.А. Федосеев, Ю.С. Модалова // Актуальные вопросы в онкологии. Материалы Российской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул. – 2017. – С. 82

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КТВР – компьютерная томография высокого разрешения

МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография

ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография

СКТ – спиральная компьютерная томография

Ср – средняя плотность всех срезов ШОЛ

ШОЛ – шаровидное образование легких

3D – трехмерная обработка изображений

Avg – максимальная плотность

DICOM – Digital Imaging and Communications in Medicine (отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов)

HU – единица Хаунсфилда

MinIP – проекции минимальных интенсивностей

MIP – проекции максимальных интенсивностей

MPR – многоплоскостные переформатирования

Std. Dev. – среднеквадратичное отклонение

WL – уровень электронного окна

WW – ширина электронного окна