

Коновалов В.К.<sup>1</sup>, Леонов С.Л.<sup>2</sup>, Шайдук А.М.<sup>1</sup>, Лобанов М.Н.<sup>3</sup>, Колмогоров В.Г.<sup>4</sup>, Федосеев М.А.<sup>1</sup>, Борисенко О.В.<sup>1</sup>, Модалова Ю.С.<sup>1</sup>, Исаков А.Е.<sup>4</sup>, Ворона О.И.<sup>2</sup>, Казанцев М.В.<sup>2</sup>, Федоров В.В.<sup>1</sup>, Шойхет Я.Н.<sup>1</sup>

## ТКАНЕВОЙ ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ШАРОВИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЛЕГКИХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России, 656038, г. Барнаул; <sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул; <sup>3</sup>ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования», 656045, г. Барнаул; <sup>4</sup>КГБУЗ «Диагностический центр Алтайского края», 656038, г. Барнаул

*Применяя современные методологические подходы к обследованию, не всегда возможно достоверно установить природу шаровидного образования легких (ШОЛ). Способ оценки внутренней структуры ШОЛ, заключающийся в прицельной объемной денситометрии, позволил получать последовательные выборки в выделенных зонах интереса значений пикселей из файлов в формате DICOM, проводить анализ распределения денситометрических плотностей как в плоскости среза, так и с учетом различных срезов в выделенном объеме. Вновь разработанная технология денситометрического анализа ШОЛ на основе нейронных сетей способна классифицировать численные данные, полученные из компьютерных томограмм при помощи программного обеспечения Рентгенолог+. Чувствительность при разделении нозологий первичный рак – инфильтративный туберкулез составила 91,1%, специфичность – 88,6%, точность – 90,2%. Чувствительность при разделении нозологий первичный рак – пневмония составила 90,4%, специфичность – 74,5%, точность – 84,2%. Чувствительность при разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония составила 79,5%, специфичность – 80,8%, точность – 80,2%.*

**Ключевые слова:** шаровидные образования легких; мультиспиральная компьютерная томография; технология денситометрического анализа; нейронная сеть; система искусственного интеллекта; программное обеспечение Рентгенолог+.

**Для цитирования:** Российский онкологический журнал. 2015; 20 (5): 8–12.

TISSUE DENSITOMETRY ANALYSIS OF SPHERICAL FORMATIONS OF LUNGS ON THE BASE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM IN THE MULTISPIRAL COMPUTED TOMOGRAPHY

Konovalov V.K.<sup>1</sup>, Leonov S.L.<sup>2</sup>, Shayduk A.M.<sup>1</sup>, Lobanov M.N.<sup>3</sup>, Kolmogorov V.G.<sup>4</sup>, Fedoseev M.A.<sup>1</sup>, Borisenko O.V.<sup>1</sup>, Modakalova Yu.S.<sup>1</sup>, Isakov A.E.<sup>4</sup>, Vorona O.I.<sup>2</sup>, Kazancev M.V.<sup>2</sup>, Fedorov V.V.<sup>1</sup>, Shoykhet Ya.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Altai State Medical University, 656000, Barnaul, Russian Federation; <sup>2</sup>I.I.Polzunov Altai State Technical University, 656038, Barnaul, Russian Federation; <sup>3</sup>Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis Replacement, 656045, Barnaul, Russian Federation; <sup>4</sup>Diagnostic Center of the Altai Territory, 656038, Barnaul, Russian Federation

*Applying modern methodological approaches to inspection, it is not always possible to establish the nature of the spherical formation of lungs (SFL). The way of assessment of internal structure SFL consisting of target volume densitometry, allowed to receive consecutive selections in the allocated zones of interest of values of pixels from files in the DICOM format, to carry out the analysis of distribution of densitometrical density, both to the cut planes, and taking into account various cuts in the allocated volume. The newly developed technology of the densitometrical analysis of spherical formations of lungs on the basis of neural networks, is capable to classify the numerical data obtained from computer tomograms by means of the software «Radiologist +». Sensitivity at division of «primary cancer – infiltrative tuberculosis» made 91.1%, specificity – 88.6%, accuracy – 90.2%. Sensitivity at division of «primary cancer – pneumonia» made 90.4%, specificity – 74.5%, accuracy – 84.2%. Sensitivity at division of «infiltrative tuberculosis – pneumonia» made 79.5%, specificity – 80.8%, accuracy – 80.2%.*

**Key words:** spherical formations of lungs; multispiral computed tomography; technology of the densitometrical analysis; neural network; artificial intelligence system; software «Radiologist +».

**Citation:** Rossiiskii onkologicheskii zhurnal. 2015; 20 (5): 8–12. (In Russ.)

**Correspondence to:** Vladimir Kolmogorov – MD, PhD; e-mail: vkolmogorov@dcak.ru.

Received 26.05.15

Применяя современные методологические подходы к обследованию, не всегда возможно достоверно установить природу шаровидного образования легких (ШОЛ) [1–3]. Это обусловлено сходными

дескрипторами при опухолевых, специфических, неспецифических воспалительных и иных патологических процессах при их визуализации интраскопическими методами [4–7], что побуждает разрабатывать новые объективные критерии оценки получаемых данных.

Денситометрия является одной из основополагающих методик мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), позволяющей уточнить характер

Для корреспонденции: Колмогоров Владимир Геннадьевич – канд. мед. наук, зав. отд. лучевой диагностики; e-mail: vkolmogorov@dcak.ru.

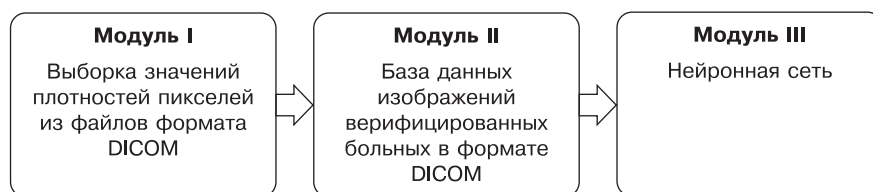


Рис. 1. Блок-схема структуры технологии денситометрического анализа.

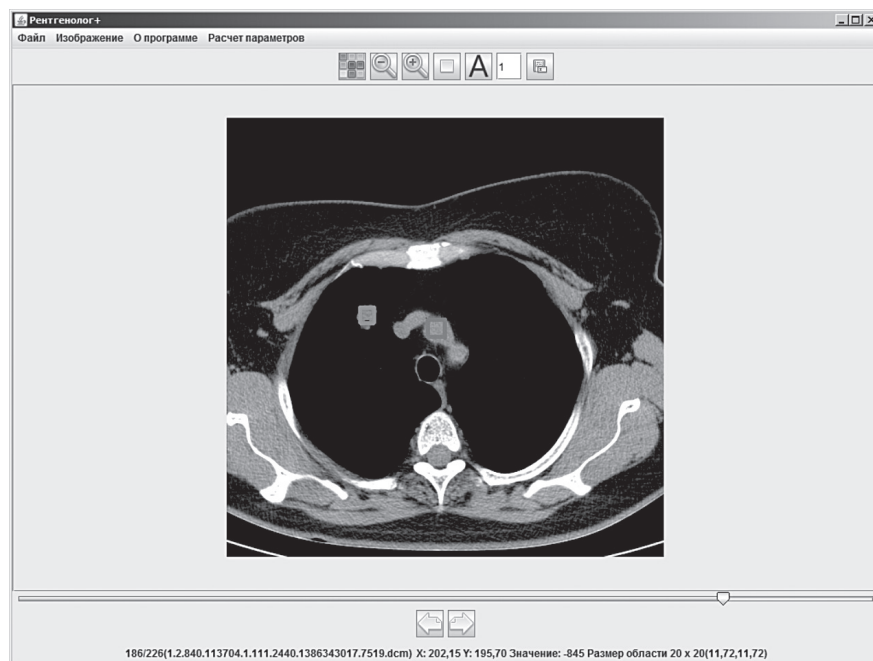


Рис. 2. Главное окно программы Рентгенолог+.

патологических изменений органов грудной полости [8, 9], однако ее возможности в оценке ШОЛ изучены недостаточно [10].

Цель работы — разработка технологии денситометрического анализа ШОЛ, способной на основе нейронных сетей классифицировать численные данные, полученные из компьютерных томограмм, и делать предположения относительно диагноза.

### Материал и методы

Обследовано 328 больных с верифицированными диагнозами: первичный рак легкого, пневмония, инфильтративный туберкулез в возрасте от 2 до 87 лет. Мужчин было 229 (69,8%), женщин — 99 (30,2%). МСКТ осуществлялась на компьютерных томографах Aquillion 64 и Asteion 4 (Toshiba Medical Systems).

Постпроцессинговый анализ сканов проводили на персональном компьютере Pentium 4 с помощью программы Рентгенолог+ (Россия). Технология состоит из трех модулей (рис. 1).

Создание технологии начиналось со второго модуля — банка баз данных файлов в формате DICOM больных и текстовых баз данных. При этом пул баз данных заполнялся в два этапа.

На первом этапе осуществляли сбор и накопление информации. Необходимо отметить, что, во-первых, в связи с появлением новых видов DICOM-форматов и особенностями хранения файлов у разных фирм-

производителей потребовалось разработать компьютерную программу для конвертации DICOM-файлов в стандартный вид [11]; во-вторых, из-за отсутствия систем автоматизации процесса хранения и передачи по каналам связи медицинских изображений и протоколов исследований, подобных PACS и RIS [12], файлы DICOM-форматов доставляли из ЛПУ при помощи внешних переносных накопителей; в-третьих, текстовые базы данных о пациентах в разных ЛПУ были выполнены на разных компьютерных платформах (DBFN, Excel, MBS и др.), что было неудобно для конечного пользователя. На втором этапе проводили оценку качества МСКТ-исследований. Отбирали заболевания, соответствующие требованиям денситометрического анализа [13].

Затем был разработан второй модуль — модуль выборки значений плотностей пикселей из файлов в формате DICOM путем использования программного обеспечения Рентгенолог+ [14]. После запуска программы появлялось окно, которое содержало главное меню, рабочую панель и панель навигации (рис. 2).

Для открытия диалогового окна выбора файла пользовались пунктами меню Файл/открыть изображение или горячими клавишами Ctrl+O. Для открытия выбирали

файл; в программу кроме него, загружались все файлы формата DICOM, которые находились в той же папке. Для навигации между срезами использовались кнопки «влево» и «вправо» в нижней части рабочего окна, ползунок, который расположен над этими кнопками, колесико мыши или горячие клавиши Ctrl+→ и Ctrl+←. При работе с изображениями предусмотрены функции изменения масштаба; можно воспользоваться кнопками на верхней панели, пунктами меню «Изображение/увеличить изображение» и «Изображение/уменьшить изображение» соответственно, а также горячими клавишами Ctrl++ и Ctrl+-.

Пункт меню «Изображение/выбрать окно» позволял выбирать электронное окно, в режиме которого необходимо отображение патологии. Работа с изображениями доступна в двух режимах: выделения области интереса и расчета параметров. Для сохранения параметров ШОЛ в файле необходимо выделить обе области.

Изменение размеров области интереса возможно с помощью пунктов главного меню «Изображение/изменить область» или горячих клавиш. Срезы считались от текущего без изменения областей интереса от среза к срезу. После нажатия на кнопку появлялось диалоговое окно, в котором выбиралась папка либо записывалось новое название, находясь в нужной директории. В папке, из которой были выбраны файлы для расчетов, появлялся файл ragams.

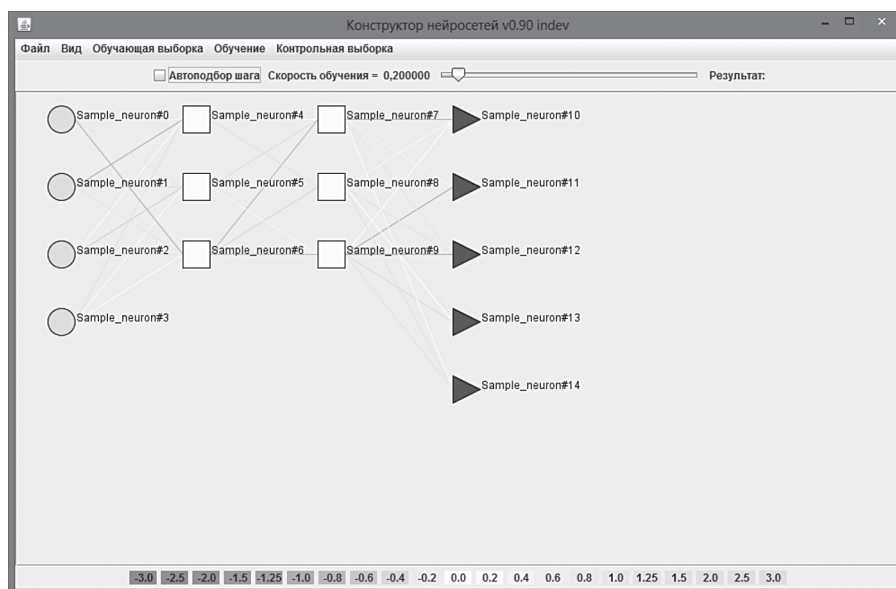


Рис. 3. Созданная сеть в главном окне программы.

Обучающая выборка

Обучающая выборка: 6 входов; 1 выход.

Добавить Редактировать Удалить

| Вход 1      | Вход 2       | Вход 3        | Вход 4       | Вход 5        | Вход 6       | Выход 1 |
|-------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------|
| 2.617517363 | 0.123637027  | 31.4582974314 | 0.6822550276 | 13.0793488579 | 0.8715492095 | 0.0     |
| 2.597652688 | 0.0998100871 | 22.8970000595 | 0.6963632145 | 14.8103359951 | 0.8423232289 | 0.0     |
| 2.381169916 | 0.3147355077 | 29.3404747837 | 0.413782786  | 11.8908041276 | 0.6514137833 | 1.0     |
| 2.165204297 | 0.6138141547 | 43.6309481481 | 0.9811427037 | 13.7631002318 | 0.8312553883 | 1.0     |
| 2.471357286 | 0.0846826084 | 22.1894320286 | 0.8429991598 | 12.4897017808 | 0.8982255958 | 1.0     |
| 2.719957934 | 0.1836053104 | 5.2468581463  | 0.855673849  | 15.5137410754 | 0.8548880672 | 1.0     |
| 2.617606964 | 0.0940119575 | 12.2017617647 | 0.5764772575 | 15.6193235861 | 0.4337060061 | 1.0     |
| 2.202543172 | 0.584881317  | 47.3288246882 | 0.0639528837 | 21.8193144437 | 0.9710782821 | 1.0     |
| 2.156474294 | 0.0910332384 | 71.4475885329 | 0.9070899687 | 13.6486492978 | 0.8968883739 | 1.0     |
| 2.378614369 | 0.1658919412 | 33.6167019785 | 0.968085285  | 19.8977322784 | 0.9088686991 | 1.0     |
| 2.535400852 | 0.173502155  | 20.0757334295 | 0.8185789098 | 11.2541639516 | 0.9813632099 | 1.0     |
| 2.376643571 | 0.1288270162 | 40.9189608803 | 0.7890648786 | 10.6315674135 | 0.9423289807 | 1.0     |
| 2.406513594 | 0.4520377512 | 20.2377523614 | 0.7664812494 | 13.0840517438 | 0.6773164431 | 1.0     |
| 2.400657813 | 0.906599424  | 49.5832751851 | 0.9646984854 | 12.2092439313 | 0.925595906  | 1.0     |
| 2.538024352 | 0.1047480648 | 31.4459876574 | 0.7083023464 | 14.4396896764 | 0.9108783407 | 1.0     |
| 2.620675143 | 0.1751584529 | 32.2854947687 | 0.9547151441 | 18.8782448355 | 0.9317748009 | 1.0     |
| 2.817948892 | 0.1571486666 | 24.2101288937 | 0.7126852961 | 12.9016952125 | 0.5016541778 | 1.0     |
| 2.068287781 | 0.2725406473 | 53.4952033244 | 0.871136242  | 20.3064638475 | 0.9288898513 | 1.0     |
| 2.616414689 | 0.2354164256 | 19.7490257436 | 0.8484176559 | 10.9200180488 | 0.9641231437 | 1.0     |
| 2.128791953 | 1.0556966667 | 34.2734391833 | 0.8559060284 | 15.5980902016 | 0.7589954507 | 1.0     |
| 2.004629176 | 0.1798062113 | 27.8582299124 | 0.7108148621 | 12.644000408  | 0.9813229005 | 1.0     |
| 2.473372786 | 0.2423176218 | 35.3465922095 | 0.7221317422 | 19.1129553903 | 0.7008573135 | 1.0     |
| 2.244918247 | 0.1071925435 | 30.3792017756 | 0.8822224077 | 16.4868815299 | 0.8721480474 | 1.0     |
| 2.575941432 | 0.1023906458 | 15.3750767079 | 0.5370081657 | 14.9628966579 | 0.6173894782 | 1.0     |
| 2.49437931  | 0.1717782397 | 41.4751578284 | 0.4942741787 | 10.8853073197 | 0.9070776585 | 1.0     |

Готово Отмена

Рис. 4. Результат обучающей выборки.

txt, в котором записывались рассчитанные параметры.

Затем был разработан третий модуль – нейронная сеть [15]. При этом использовался конструктор нейронных сетей – специализированное программное обеспечение, предназначенное для решения задач с применением многослойных персептронов.

Применялся искусственный нейрон – математический алгоритм вычисления в зависимости от набора входных параметров  $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\}$  выходной величины  $V[0; 1]$ .

Конструктор нейронных сетей v0.80 indev разработан на языке Java 1.7 и предназначен для обучения многослойных персептронов [16]. При обучении нейронных сетей использовался метод обратного распространения ошибок. В ходе работы программа в графическом виде отображала текущее состояние сети, показывая цвета ребер в зависимости от их веса.

Для работы с программой создавалась новая нейронная сеть или загружалась уже готовая из файла. Для этого в меню «Файл» выбирался пункт «Новая сеть» или «Открыть сеть». При визуальном отображении сети нейроны обозначались разноцветными геометрическими фигурами в зависимости от их положения в сети. С помощью меню «Вид» можно было изменять расстояние между соседними слоями сети и между нейронами внутри слоя (рис. 3).

Следующим шагом являлось формирование обучающей выборки. Для этого использовались соответствующие пункты меню «Обучающая выборка/новая обучающая выборка» или «Обучающая выборка/открыть обучающую выборку». После формирования сети и обучающей выборки начиналось обучение.

Обучение заканчивалось, когда критерий становился меньше некоторого заданного значения. Обученную сеть возможно было сохранить в файле для последующей работы с ней (рис. 4).

При обучении сети минимизировалась сумма квадратов невязки по всей выборке (критерий равен  $\frac{1}{2}$  этой суммы). Константа, отвечающая за скорость обучения, изменялась вручную. В выборке имелось 232 записи: 86 – туберкулез (выход сети – 0), 146 – рак (выход сети – 1).

Стартовые веса нейронной сети задавались случайными числами из интервала (минус 1, 1), а скорость обучения регулировалась вручную. Обучение велось до тех пор, пока критерий не переставал существенно уменьшаться. Значение критерия на момент остановки  $\sim 10,06$ . Диагноз считался

верным, если разница между значением, выданным сетью, и ожидаемым выходом менее 0,5. Количество поставленных верно диагнозов для входов из обучающей выборки было 210, неверно поставленных – 22 (точность 90,52%) Количество ложных диагнозов рака 9, туберкулеза 13.

При разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония результаты были несколько хуже: значение критерия  $\sim 12,51$ . В области  $V < 0,5$  находилось 81% пациентов с верифицированным диагнозом инфильтративного туберкулеза (71 верно поставленных и 16 неверно поставленных диагнозов), а в области  $V > 0,5$  – 79,5% пациентов с верифицированным диагнозом пневмонии (75 верно и 19 неверно поставленных диагнозов).

При разделении нозологий первичный рак – пневмония получены следующие результаты: значение критерия  $\sim 11,7$ ; в области  $V < 0,5$  находилось 74,5%



Таблица 1

Результаты дифференциальной диагностики ШОЛ при МСКТ (в %) на основе многомерной обработки денситометрических параметров ( $M+m$ )

| Результат             | Первичный рак – инфильтративный туберкулез |            | Первичный рак – пневмония |                                    | Инфильтративный туберкулез – пневмония |                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Истинно положительные | 133                                        | 56,8 ± 3,2 | 132                       | 55,0 ± 3,2<br>( $p_{1-2} > 0,5$ )  | 70                                     | 38,5 ± 3,6<br>( $p_{1-3} < 0,001$ )<br>( $p_{2-3} < 0,001$ ) |
| Истинно отрицательные | 78                                         | 33,3 ± 3,1 | 70                        | 29,2 ± 2,9<br>( $p_{1-2} > 0,05$ ) | 76                                     | 41,7 ± 3,6<br>( $p_{1-3} > 0,05$ )<br>( $p_{2-3} < 0,01$ )   |
| Ложноотрицательные    | 13                                         | 5,6 ± 1,5  | 14                        | 5,8 ± 1,5<br>( $p_{1-2} > 0,5$ )   | 18                                     | 9,9 ± 2,2<br>( $p_{1-3} > 0,05$ )<br>( $p_{2-3} > 0,05$ )    |
| Ложноположительные    | 10                                         | 4,3 ± 1,3  | 24                        | 10,0 ± 1,9<br>( $p_{1-2} < 0,05$ ) | 18                                     | 9,9 ± 2,2<br>( $p_{1-3} < 0,05$ )<br>( $p_{2-3} > 0,5$ )     |
| Всего ...             | 234                                        | 100,0      | 240                       | 100,0                              | 182                                    | 100,0                                                        |

Таблица 2

Эффективность дифференциальной диагностики ШОЛ при МСКТ (в %) на основе многомерной обработки денситометрических параметров ( $M+m$ )

| Результат        | Первичный рак – инфильтративный туберкулез ( $n = 234$ ) | Первичный рак – пневмония ( $n = 240$ ) | Инфильтративный туберкулез – пневмония ( $n = 182$ )        |
|------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Чувствительность | 91,1 ± 1,9                                               | 90,4 ± 1,9<br>( $p_{1-2} > 0,5$ )       | 79,5 ± 3,0<br>( $p_{1-3} < 0,001$ )<br>( $p_{2-3} < 0,01$ ) |
| Специфичность    | 88,6 ± 2,1                                               | 74,5 ± 2,8<br>( $p_{1-2} < 0,001$ )     | 80,8 ± 2,9<br>( $p_{1-3} < 0,05$ )<br>( $p_{2-3} > 0,05$ )  |
| Точность         | 90,2 ± 1,9                                               | 84,2 ± 2,3<br>( $p_{1-2} < 0,05$ )      | 80,2 ± 2,9<br>( $p_{1-3} < 0,01$ )<br>( $p_{2-3} > 0,05$ )  |

пациентов с верифицированным диагнозом пневмонии (70 верно поставленных и 24 неверно поставленных диагнозов), а в области  $V > 0,5$  – 90,4% пациентов с верифицированным диагнозом первичного рака (132 верно поставленных и 14 неверно поставленных диагнозов).

Проведена сравнительная оценка дифференциально-диагностических возможностей вновь разработанной технологии тканевого денситометрического анализа ШОЛ при первичном раке, пневмонии и инфильтративном туберкулезе.

Количество истинно положительных результатов при разделении нозологий первичный рак – инфи-

льтративный туберкулез было статистически значимо больше, чем при разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония. Количество истинно положительных результатов при разделении нозологий первичный рак – пневмония было статистически значимо больше, чем при разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония.

Количество истинно отрицательных результатов при разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония было статистически значимо больше, чем при разделении нозологий первичный рак – пневмония.

Не выявлено статистически значимых различий количества ложноотрицательных результатов при разделении трех нозологий. Количество ложноположительных результатов при разделении нозологий первичный рак – пневмония было статистически значимо больше, чем при разделении нозологий первичный рак – инфильтративный туберкулез. Количество ложноположительных результатов при разделении нозологий инфильтративный туберку-

лез – пневмония было статистически значимо больше, чем при разделении нозологий первичный рак – инфильтративный туберкулез (табл. 1).

Чувствительность при разделении нозологий первичный рак – инфильтративный туберкулез составила 91,1%, специфичность – 88,6%, точность – 90,2%. Чувствительность при разделении нозологий первичный рак – пневмония составила 90,4%, специфичность – 74,5%, точность – 84,2%. Чувствительность при разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония составила 79,5%, специфичность – 80,8%, точность – 80,2% (табл. 2).

## Выводы

1. Технология денситометрического анализа ШОЛ на основе нейронных сетей способна классифицировать численные данные, полученные из компьютерных томограмм.

2. Требуется разработка унифицирующих программ для работы пользователей с текстовыми базами данных о пациентах.

3. Программное обеспечение Рентгенолог+ позволяет осуществлять выборку значений плотностей пикселей из файлов в формате DICOM.

4. Конструктор нейронных сетей v0.80 indev дает возможность проводить дифференциальную диагностику ШОЛ.

5. Чувствительность при разделении нозологий первичный рак – инфильтративный туберкулез составила 91,1%, специфичность – 88,6%, точность – 90,2%.

6. Чувствительность при разделении нозологий первичный рак – пневмония составила 90,4%, специфичность – 74,5%, точность – 84,2%.

7. Чувствительность при разделении нозологий инфильтративный туберкулез – пневмония составила 79,5%, специфичность – 80,8%, точность – 80,2%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Габуния Р.И., Колесникова Е.К. *Компьютерная томография в клинической диагностике*. М.: Медицина; 1995.
2. Власов П.В. *Лучевая диагностика заболеваний органов грудной полости*. М.: Видар; 2006.
3. Коновалов В.К., Колмогоров В.Г., Лобанов М.Н., Шевчук Ю.А. Опыт применения трехмерных реконструкций при мультиспиральной компьютерно-томографической диагностике шаровидных образований легких. *Радиология – практика*. 2012; 3: 45–50.
4. Розенштраух Л.С. Психофизиологические факторы в рентгенодиагностике. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 1994; 4: 57–61.
5. Лукомский Г.И., Шулутко М.Л., Виннер М.Г., Овчинников А.А. *Бронхоппульмонология*. М.: Медицина; 1982.
6. Иваничко Т.Е. *Особенности дифференциальной диагностики периферических образований легких при компьютерной томографии*. Дисс. ... канд. мед. наук. Томск; 2000.
7. Найдич Б.Г. Проблема нестабильности восприятия и интерпретации рентгеновских изображений шаровидных образований легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 1989; 3: 69–74.
8. Календер В. *Компьютерная томография*. М.: Техносфера; 2006.
9. Прокоп М., Галански М. *Спиральная и многослойная компьютерная томография*. М.: МЕДпресс-информ; 2007.
10. Коновалов В.К., Шойхет Я.Н., Федоров В.В., Лобанов М.Н., Леонов С.Л., Шайдук А.М. и др. Способ прицельной объемной денситометрии шаровидных образований легких для оценки их внутренней структуры при мультиспиральной компьютерной томографии. *Проблемы клинической медицины*. 2012; 1–4: 74–86.
11. Исаков А.Е., Коновалов В.К., Леонов С.Л., Лобанов М.Н. *Перекодирование файлов DICOM. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2013660511; 2013*.
12. Дабагов А.Р. Цифровая радиология и диагностика. Достижения и перспективы. *Журнал радиоэлектроники*. 2009; 5. Доступ на: <http://jre.cplire.ru/jre/may09/2/text.html>
13. Коновалов В.К., Леонов С.Л., Шайдук А.М., Шойхет Я.Н., Федоров В.В., Колмогоров В.Г. и др. *Способ оценки внутренней структуры шаровидных образований легких. Патент РФ, № 2515508; 2012*.
14. Ворона О.И., Леонов С.Л., Коновалов В.К., Шайдук А.М. *Получение параметров компьютерных изображений. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2013613849; 2013*.
15. Казанцев М.В., Леонов С.Л., Коновалов В.К., Шайдук А.М. *Конструктор нейронных сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2014611358; 2014*.
16. Яхьяева Г.Э. *Нечеткие множества и нейронные сети. Учебное пособие*. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ; 2006.
2. Vlasov P.V. *Radial diagnostics of diseases of the chest cavity. [Luchevaya diagnostika zabolevaniy organov grudnoy polosti]*. Moscow: Vidar; 2006. (in Russian)
3. Konovalov V.K., Kolmogorov V.G., Lobanov M.N., Shevchuk Yu.A. *Radiologiya – praktika*. 2012; 3: 45–50. (in Russian)
4. Rozenshtaukh L.S. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 1994; 4: 57–61. (in Russian)
5. Lukomskiy G.I., Shulutko M.L., Vinner M.G., Ovchinnikov A.A. *Bronhopulmonary. [Bronhopul'monologiya]*. Moscow: Meditsina; 1982. (in Russian)
6. Ivanichko T.E. *Features of the differential diagnosis of peripheral lung neoplasms in CT. [Osobennosti differentsial'noy diagnostiki perifericheskikh obrazovaniy legkikh pri komp'yuternoy tomografii]*. Diss. Tomsk; 2000. (in Russian)
7. Naydich B.G. The problem of instability of perception and interpretation of x-ray images of spherical formations in the lungs. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 1989; 3: 69–74. (in Russian)
8. Kalender V. *Computer tomography. [Komp'yuternaya tomografiya]*. Moscow: Tekhnosfera; 2006. (in Russian)
9. Prokop M., Galanski M. *Spiral computer tomography. [Spiral'naya i mnogosloynnaya komp'yuternaya tomografiya]*. Moscow: MEDpress-inform; 2007. (in Russian)
10. Konovalov V.K., Shoykhet Ya.N., Fedorov V.V., Lobanov M.N., Leonov S.L., Shayduk A.M. et al. Method of sighting volume densitometry of spherical formations in the lungs to assess their internal structure with multislice computed tomography. *Problemy klinicheskoy meditsiny*. 2012; 1–4: 74–86. (in Russian)
11. Isakov A.E., Konovalov V.K., Leonov S.L., Lobanov M.N. *Transcoding DICOM files. The certificate of state registration of computer programs No. 2013660511; 2013. [Perekodirovanie faylov DICOM. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM, № 2013660511; 2013]*. (in Russian)
12. Dabagov A. R. Digital radiology and diagnostics. Achievements and prospects. *Zhurnal radioelektroniki*. 2009; 5. Dostup na: <http://jre.cplire.ru/jre/may09/2/text.html> (in Russian)
13. Konovalov V.K., Leonov S.L., Shayduk A.M., Shoykhet Ya.N., Fedorov V.V., Kolmogorov V.G., Lobanov M.N. et al. *A method of evaluating the internal structure of spherical formations in the lungs. [Sposob otsenki vnutrenney struktury sharovidnykh obrazovaniy legkikh. Patent RF, № 2515508; 2012]*. (in Russian)
14. Vorona O.I., Leonov S.L., Konovalov V.K., Shayduk A.M. *Get settings of digital images. The certificate of state registration of computer programs No. 2013613849; 2013. [Poluchenie parametrov komp'yuternykh izobrazheniy. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM, № 2013613849; 2013]*. (in Russian)
15. Kazantsev M.V., Leonov S.L., Konovalov V.K., Shayduk A.M. *The constructor of neural networks. The certificate of state registration of computer programs No. 2014611358; 2014. Konstruktor neyronnykh setey. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM, № 2014611358; 2014]*. (in Russian)
16. Yakh'yeva G.E. *Fuzzy sets and neural networks: a tutorial. [Nechetkie mnozhestva i neyronnye seti: Uchebnoe posobie]*. Moscow: Internet-Universitet Informatsionnykh Tekhnologii; BINOM; 2006. (in Russian)

## REFERENCES

Поступила 26.05.15