

17. Pilyugina A. A., Boyko A. A. Opyt ispolzovaniya apparata nechetkikh mnozhestv v prognozirovanii valyutnogo kursa [Use experience of fuzzy set theory in an exchange rate forecasting]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 3, pp. 143–157.
18. Petrushin V. N., Rytikov G. O. Formalizatsiya vremennogo ryada metodom dvoynogo sglazhivaniya [Formalization of time series by method of double smoothing]. *Cloud of Science*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 230–238.
19. Polkovnikova N. A., Kureychik V. M. Neyrosetevye tekhnologii, nechetkaya klasterizatsiya i geneticheskie algoritmy v ekspertnoy sisteme [Neural network technologies, fuzzy clustering and genetic algorithms in expert system]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of the Southern federal university. Technical science], 2014, no. 7 (156), pp. 7–15.
20. Rutkovskaya D., Pilinskiy M., Rutkovskiy L. Neyronnye seti, gene-ticheskie algoritmy, nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms, fuzzy systems], Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2004. 452 p.
21. Terekhov A. A. Identifikatsiya statisticheskogo materiala i konsolidatsiya vremennykh ryadov [Statistical material identification and time series' consolidation]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University], 2009, no. 27, pp. 62–70.
22. Chubukova I. A. *Data Mining* [Data Mining: manual], Moscow, Internet University of Information Technologies Publ. House, BINOM Publ., Laboratory of knowledge Publ., 2006. 382 p.
23. Shcherbakov M. V., Kozlov I. P., Shcherbakova N. L. Primenenie evolyutsionnykh konnektivistskikh modeley identifikatsii sostoyaniy dinamiki sistem dlya resheniya zadachi prognozirovaniya potrebleniya elektroenergii v avtomaticheskom rezhime [Application of evolutionary connective models of systems' dynamics conditions' identification for the solution of a forecasting problem of electricity consumption in the automatic mode]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2011, no. 4, pp. 70–75.
24. Shtovba S. D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami Matlab* [Fuzzy systems' design by means of Matlab], Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2007. 288 p.
25. Demidova L. A. Time series forecasting models on the base of modified clonal selection algorithm [Time series forecasting models on the base of modified clonal selection algorithm]. *2014 International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA)*, Saint Petersburg State University Publ. House, 2014, pp. 33–34.
26. Lee L. W., Wang L. H., Chen S. M., Leu Y. H. Handling forecasting problems based on two-factors high-order fuzzy time series. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 2006, vol. 14, no. 3, pp. 468–477.
27. Tahseen A. J., Aqil Burney S. M., Ardil C. Multivariate high order fuzzy time series forecasting for car road accidents. *International journal of computational intelligence*, 2007, vol. 4, no. 1, pp. 15–20.

УДК 004.4:[616.2+616-073.75]

**АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ
ПОПУЛЯЦИОННОГО СКРИНИНГА ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
ЛЕГКИХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ**

Марусина Мария Яковлевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), 197101, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: marusina_m@mail.ru

Волгарева Александра Павловна, магистрант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Универ-

ситет ИТМО), 197101, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: volgareva2007@rambler.ru

Толкович Дмитрий Владиславович, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), 197101, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: pyby@inbox.ru

Представлена общая характеристика проблематики выявления онкологических заболеваний легких. Проведено сравнение функциональных возможностей различных методов выявления заболеваний легких и обоснован выбор наиболее подходящего. Перечислены условия и возможности использования систем томографической диагностики для скрининга рака легких. Проанализированы требования к программному обеспечению системы популяционного скрининга, основанной на данных рентгеновской компьютерной томографии. Изучены уже имеющиеся комплексы программного обеспечения, на основе чего выявлены опции, которые должны быть включены в новый программный продукт. Определены возможные ошибки на этапе планирования и реализации популяционного скрининга. Рассмотрены требования к качеству анализа патологий на томографических изображениях легких и математическая модель оценки эффективности выявления злокачественных новообразований в легких.

Ключевые слова: онкологические заболевания легких, популяционный скрининг, технологии выполнения, компьютерная томография, обработка изображений, выявление патологий, программное обеспечение, взаимосвязи с пациентами

THE ANALYSIS OF CANCER SCREENING SISTEM DEVELOPMENT PRINCIPLES BASED ON X-RAY COMPUTER TOMOGRAPHY DATA

Marusina Mariya Y., D.Sc.(Technology), Professor, Head of Department, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), 49 Kronverkskiy Ave., Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, e-mail: marusina_m@mail.ru

Volgareva Aleksandra P., undergraduate student, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), 49 Kronverkskiy Ave., Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, e-mail: volgareva2007@rambler.ru

Tolkovich Dmitriy V., post-graduate student, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), 49 Kronverkskiy Ave., Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, e-mail: pyby@inbox.ru

In article presented the general characteristics of the problem cancer detection, compared the features of various methods of detecting lung diseases and justified the choice the most suitable one. Listed conditions and possibilities of tomography diagnostics for the lung cancer screening. Analyzed software requirements of population screening based on data from X-ray computer tomography. Authors studied the existing software complexes and determined the options, that should be included in the new software product. Identified the possible errors in the planning and realization of population screening. Also considered analyses of pathologies quality requirements on the tomography images of lungs and mathematical model for evaluating the efficiency of malignant tumors detection.

Keywords: lung cancer, population screening, implementation technology, computer tomography, image processing, identification of pathology, software, relationship with patients

Введение. Рак лёгких (РЛ) продолжает оставаться распространенной причиной смертности населения. Эффективность лечения этого заболевания во многом определяется тем, насколько рано удалось его выявить. Для ранней диагностики РЛ целесообразно периодически производить контроль лиц, входящих в группу риска. Одной из форм проведения

такого контроля может быть популяционный скрининг (ПС) населения с помощью рентгеновской компьютерной томографии (РКТ).

Целями настоящей работы являются следующие: обоснование целесообразности создания комплексной системы ПС населения в отношении РЛ с использованием РКТ; анализ требований к такой системе; определение необходимой функциональности программного обеспечения (ПО) для поддержки комплексной системы ПС.

Общая характеристика проблематики выявления онкологических заболеваний легких. Рак легких занимает одно из первых мест по смертности во всём мире, уступая первенство в странах с высоким доходом только ишемической болезни сердца и инсульту. Ранняя диагностика и адекватное лечение РЛ способствуют снижению уровня смертности. Однако техногенное загрязнение окружающей среды может провоцировать увеличение заболеваемости населения, особенно в экологически неблагоприятных районах.

Поэтому, в общем случае в отношении борьбы с РЛ необходимо иметь в виду задачу оптимального распределения средств и усилий по следующим направлениям: обеспечение благоприятной экологической обстановки в местах проживания населения; своевременное выявление (диагностика) заболеваний РЛ; реализация лечебных процедур; мониторинг их результативности.

В свою очередь, задача своевременной диагностики РЛ включает следующие основные направления: привлечение финансирования на проведение ПС; выявление лиц, входящих в группы риска; обеспечение широты охвата населения ПС, в т.ч. за счет мотивации физических лиц к прохождению соответствующих обследований; управление периодичностью выполнения ПС; разработка аппаратных средств и ПО для проведения ПС, предварительного и углубленного анализа его результатов; насыщение сферы здравоохранения необходимым количеством аппаратно-программных комплексов для проведения ПС; обеспечение необходимой квалификации медицинского персонала; рациональная организация работы специалистов разных областей и др.

По мнению многих авторов одной из главных причин поздней диагностики РЛ является бессимптомное течение заболевания с длительным латентным периодом, не позволяющим своевременно локализовать злокачественный процесс [7, 19]. Сегодня не существует никаких периодических форм контроля данного заболевания, которые могли бы точно выявить его начальные стадии.

Сравнение функциональных возможностей различных методов выявления (диагностики) онкологических заболеваний. При массовой диспансеризации населения нередко применяется исследование крови на наличие онкомаркеров – специфических белков, появляющихся при наличии раковых заболеваний. Однако этот метод ничего не говорит о локализации опухолей.

Интроскопические методы включают в себя следующие направления:

- биоимпедансная томография;
- рентгенография (плёночная и цифровая);
- РКТ;
- магнитно-резонансная томография (МРТ);
- позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ);
- регистрация радиоизлучения опухолей.

Мы рассмотрим эти методы с позиций возможностей и удобства использования для ПС РЛ.

Биоимпедансная томография (в т.ч. многочастотная) – достаточно дешёвый метод, не наносящий вреда здоровью человека. Однако этот метод достаточно трудозатратный и обладает низкой разрешающей способностью.

Традиционная пленочная рентгенография обладает ограниченными функциональными возможностями в отношении обнаружения РЛ – в т.ч. по выявлению деталей изображений.

Цифровая рентгенография (в т.ч. низкодозная) позволяет значительно лучше выявлять детали изображений. Однако в ряде случаев компьютерная обработка формирует «артефакты», которых нет на исходных изображениях.

Ежегодно проводимые для выявления туберкулеза легких массовые флюорографические обследования населения практически бесполезны для обнаружения РЛ – если снимки и покажут наличие онкологического заболевания, то уже на достаточно поздних стадиях [14–16].

МРТ является высокоинформативной и безопасной процедурой. Однако она достаточно дорогостоящая, имеет противопоказания, касающиеся имплантатов и кардиостимуляторов и, что самое важное – имеет недостаточное качество визуализации патологий лёгких.

К положительным сторонам ПЭТ можно отнести достаточно хорошую визуализацию органов, тканей и проходящих в них процессов, к отрицательным – необходимость синтеза и использования радиоактивных соединений с небольшим периодом полураспада; высокую стоимость исследования. На практике при исследованиях пациентов на онкологические заболевания изображения РКТ и ПЭТ нередко совмещают средствами компьютерной графики. Однако это увеличивает трудоемкость и стоимость исследований.

Радиоволновые методы успешно применяются для массовых маммологических исследований. Они основаны на том, что раковые опухоли за счет интенсивного метаболизма дают повышенное радиоизлучение в определенном диапазоне. Однако для выявления РЛ этот метод малоприменим.

УЗИ-исследования оказываются малоинформативными в отношении выявления РЛ на ранних стадиях.

Таким образом, наиболее подходящим интроскопическим методом в условиях большого количества пациентов; ограниченности материальных и временных ресурсов является РКТ, хотя, несомненно, и этот метод имеет свои противопоказания [3, 11–13]. На рисунке 1 в качестве демонстрационного примера приведены результаты РКТ исследования патологии в правом легком.

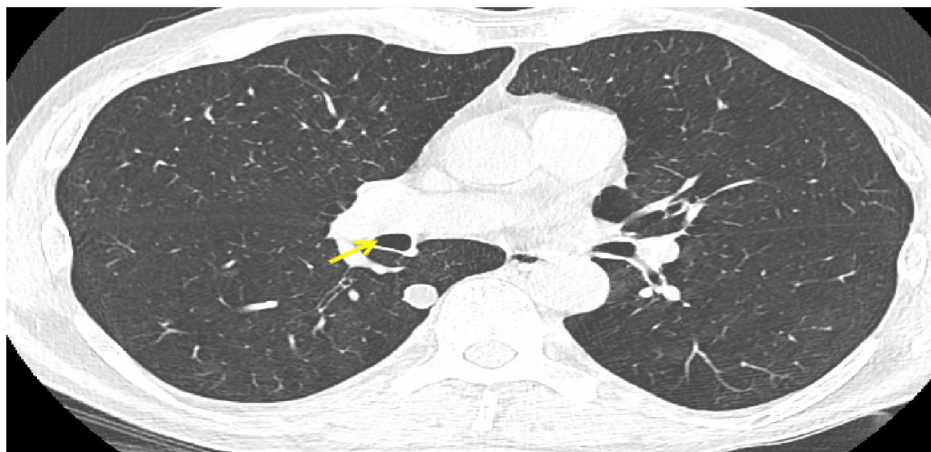


Рис. 1. Очаг патологии в правом легком. Данные получены при проведении РКТ исследования на 16-срезовом томографе GE BrightSpeed Elite

Преимущества РКТ по сравнению с традиционной рентгенографией: отсутствие теневых наложений на изображениях; более высокая точность определения геометрических соотношений; высокая «чувствительность» (на порядок выше, чем при обычной рентгенографии). Под термином «чувствительность» подразумевается возможность различить на

снимке ткани, отличающиеся между собой степенью поглощения рентгеновских лучей. При рентгенографии можно визуально различить между собой ткани, показатель поглощения у которых различается на 10–12 % (без дополнительной компьютерной обработки изображений), в то время как при РКТ – на 1–2 %. Кроме того, РКТ дает возможность построить трехмерную реконструкцию исследуемых структур; одновременно визуализировать кости, мягкие ткани и сосуды; обеспечить минимальную лучевую нагрузку при правильно спланированном исследовании [13]. Отметим, что РКТ может использоваться и для контроля мест взятия образцов тканей (биопсия). Результаты биопсии служат для подтверждения диагноза, определения степени злокачественности опухолей при микроскопическом патолого-анатомическом исследовании.

Данные, представленные на рис. 2, демонстрируют преимущества диагностики РЛ с помощью рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) по сравнению с рентгенографией.

B Death from Lung Cancer

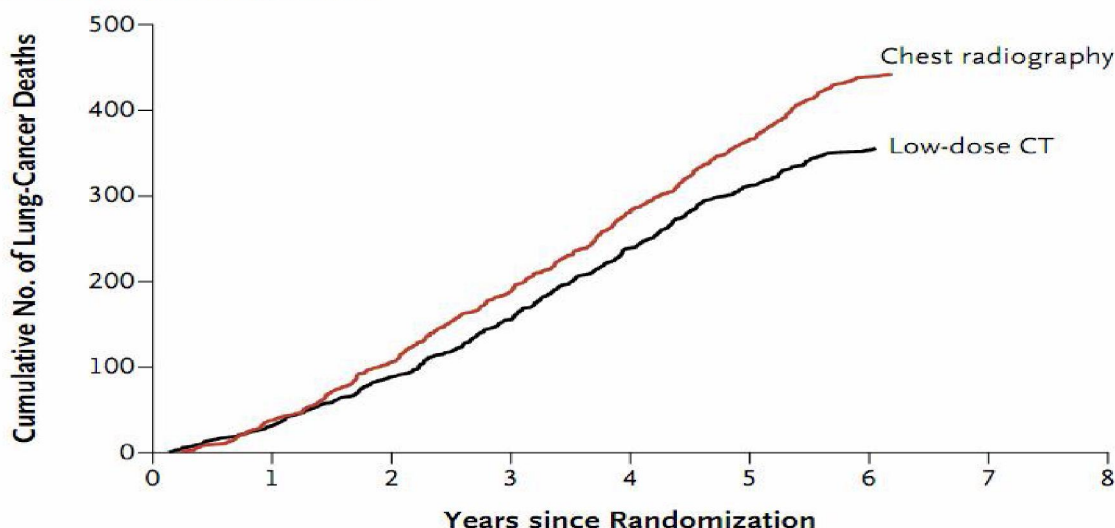


Рис. 2. График зависимости количества смертей от РЛ, диагностированных с помощью рентгенографии и низкодозной РКТ от времени, прошедшего с момента применения метода лучевой диагностики для выявления данного заболевания [20]. Обозначения: Death from lung cancer – смертность от рака легких; Cumulative No. of Lung-Cancer Deaths – совокупное число смертей от рака легких; Years since Randomizations – годы, прошедшие с момента назначения одного из методов диагностики рака лёгких; Chest radiography – радиография грудной клетки; Low-dose CT – низкодозная компьютерная томография

Вопросы финансирования и организации ПС. Финансирование программ ПС для выявления РЛ может осуществляться за счет федерального бюджета, региональных бюджетов, средств организаций.

Заинтересованность правительства страны состоит в сокращении расходов на лечение РЛ за счет более раннего выявления патологий; улучшения результатов лечения и пр. Тем самым улучшаются возможности использования трудовых ресурсов страны; продлевается средний период трудовой деятельности населения; снижается отвлечение трудовых ресурсов для ухода за больными гражданами; улучшается качество жизни населения.

Заинтересованность регионов в финансировании программ ПС РЛ может быть связана с неблагоприятными условиями труда и отдыха – в т.ч. с высокой техногенной загряз-

ненностью воздуха населенных пунктов и их пригородов. При этом кардинальное изменение таких условий в ряде случаев является невозможным по целому ряду причин.

Заинтересованность корпоративных структур в финансировании программ ПС РЛ может состоять в сокращении потерь производства, связанных с болезнями персонала; сокращении расходов на обучение новых сотрудников; снижением текучести кадров за счет расширения «социального пакета»; подтверждением отсутствия заболеваний у сотрудников, в отношении которых предполагается потратить значительные средства на обучение (профессиональную подготовку/переподготовку) и пр.

Планирование и практическая реализация программ ПС для выявления онкологических заболеваний (и, в частности, РЛ) должно удовлетворять определенным требованиям (условиям):

- 1) признанная необходимость программы;
- 2) наличие у заболевания ранней стадии;
- 3) наличие четких рекомендаций по лечению заболевания;
- 4) наличие объективных критериев выделения целевой группы населения для включения в программу ПС;
- 5) преимущества обследований должны превышать их негативные последствия и др.

При планировании и практической реализации программ ПС большое значение для их медико-экономической эффективности имеет объективное определение круга лиц, входящих в группу риска. При этом могут допускаться ошибки 1-го рода (не включение в такую группу лиц, которые объективно там должны быть) и 2-го рода (необоснованное включение лиц в эту группу). В первом случае эффективность ПС снижается за счет увеличения рисков «не выявления» РЛ у «не охваченных» ПС лиц, во втором – из-за малообоснованных расходов и дополнительной лучевой нагрузки на обследуемый контингент.

К группе риска, которую целесообразно мониторировать с использованием ПС, можно отнести следующие категории:

- 6) людей, кровные родственники которых страдали (или страдают) онкологическими заболеваниями;
- 7) лиц, работающих во вредных условиях труда, связанных с наличием канцерогенных веществ в воздухе;
- 8) пациентов, имеющих выявленные онкологические заболевания (для контроля отсутствия рецидивов, выявления фактов появления метастазов в легкие, отсутствия перехода доброкачественных опухолей в категорию злокачественных и пр.).

Местами проведения РКТ исследований в рамках ПС РЛ могут быть медицинские организации (прежде всего рассчитанные на амбулаторное обслуживание) и передвижные установки на базе автомобильных шасси.

Увеличение насыщенности сферы здравоохранения стационарными и передвижными РКТ установками является одной из объективных предпосылок их использования в рамках ПС.

Потенциальным преимуществом применения РКТ при ПС РЛ в отношении женщин может быть «совмещение» проверки легких на появление онкообразований с аналогичными маммологическими исследованиями – которые также должны проводиться регулярно.

Для обеспечения медико-экономической эффективности массовых рентгенографических обследований населения собственно съемку выполняет, как правило, средний медицинский персонал. При этом в случае цифровой рентгенографии ПО в ряде случаев в автоматическом режиме может выявлять «подозрительные» участки изображений и привлекать к ним внимание врача. Однако в основном накопленные массивы изображений анализируются уже врачами в «оф-лайнном» режиме. При подозрениях на наличие патологии пациентов вызывают на углубленное обследование.

В стационарных медучреждениях проведение РКТ осуществляют, как правило, врачи – причем в России это узкие специалисты (только по лучевой диагностике). Выбор совокупности действий при РКТ исследовании осуществляется ими в он-лайн режиме [17]. Диагностические заключения могут быть сформированы после окончания сеанса РКТ или серии таких сеансов. Таким образом, трудозатраты на одного пациента (особенно с учетом времени на написание заключений) оказываются неприемлемо высокими для массового ПС.

В силу этого при ПС населения в отношении РЛ потенциально целесообразна трех-этапная организация работ: (1) собственно РКТ-съемка легких (выполняется средним медицинским персоналом); (2) автоматизированный анализ полученных РКТ изображений для выявления «подозрений на онкопатологию» - при этом ошибки 1-го рода (пропуск патологий) имеют значительно большую значимость, чем ошибки 2-го рода (ошибочное выявление несуществующих патологий); (3) «ручной» анализ подозрительных на патологии изображений врачами в различных ракурсах.

Использование этапа «2» позволяет сконцентрировать внимание высококвалифицированного медперсонала на наиболее важных объектах; снизить его утомляемость при просмотре большого количества РКТ-изображений, где наличие патологий маловероятно.

При использовании нескольких мест получения РКТ-изображений для целей ПС информация может обрабатываться в едином центре, располагающем всем необходимым ПО. Потенциально это позволит сэкономить на закупках дорогостоящего ПО для углубленного анализа РКТ-изображений.

Отметим также, что при наличии специализированного ПО проверке на наличие онкопатологий в легких могут подвергаться и РКТ-изображения грудной клетки, которые были получены с другими (по отношению к выявлению РЛ) целями на различных аппаратах. Это могут быть, например, исследования связанные с диагностикой сердечно-сосудистой системы; изменений в позвоночнике и пр.

В общем случае ПО для проведения ПС РЛ должно включать в себя несколько модулей. Отметим в частности следующие:

- 1) обработка изображений и выявление на них участков, подозрительных на патологии [20, 21];
- 2) оценка вероятности наличия патологии по совокупности параметров; учет проведенных РКТ съемок;
- 3) хранение необходимой информации о пациентах (с учетом соблюдение требований о конфиденциальности «персональных данных»);
- 4) средства обеспечения информационного взаимодействия с пациентами, медучреждениями и пр.
- 5) В отношении модуля по обработке РКТ-изображений отметим такие необходимые функциональные возможности:
 - 6) качественный анализ параметров изображений;
 - 7) создание трехмерных моделей новообразований;
 - 8) оценку кинетики контрастных веществ в исследуемой области
 - 9) расчет количественных параметров выделенных областей.

При наличии специального ПО более полный учет информации о процессе получения изображений; о возрасте пациента, его антропометрических характеристиках, сопутствующих заболеваниях и пр. может улучшить эффективность анализа и качество интерпретации результатов исследований [4–6, 8–10].

Функциональные требования к ПО для выявления онкопатологий в легких с помощью РКТ. В настоящее время не существует ПО для ПС онкологических заболеваний,

способных обеспечить полноценную поддержку диагностических решений для массовых исследований в масштабах страны. Поэтому целесообразна разработка специализированного ПО. Для этого необходимо предварительно сформулировать требования к нему.

Авторы считают, что наиболее полезными и востребованными возможностями такого ПО должны быть следующие: организация централизованного хранения данных об обследуемых лицах; возможность обмена результатами исследований между медицинскими организациями, в том числе и использующими различные медицинские информационные системы [2]; автоматический анализ и отбор диагностически значимых изображений; обеспечение информационного взаимодействия с пациентами.

Такое ПО должно обладать высокой эксплуатационной надежностью; гибкостью; простотой и удобством использования; наличием веб-сервиса для обеспечения доступа через настольные ПЭВМ и мобильные устройства.

Отдельно отметим меры, связанные с информационной безопасностью: использование логинов и паролей для исключения доступа лиц, не имеющих соответствующих полномочий; применение шифрования при передаче информации по каналам связи; проведение периодических резервных копирований баз данных и пр.

Для этапа эксплуатации необходимо обеспечить следующие функциональные возможности ПО для ПС: формирование контингента лиц, включаемых в группы для ПС РЛ; приглашение целевых групп на процедуры скрининга (в том числе с автоматизированной рассылкой приглашений через SMS – включая сведения о времени обследования); автоматизированный сбор и обработка анкетных данных обследуемых лиц, снимков РКТ, МРТ и т.д.; возможность работы с информацией о пациентах (включая отбор лиц для целевой группы в несколько этапов, присвоение каждому такому лицу персонального идентификатора); возможность визуализации с помощью графиков и диаграмм данных по отдельным пациентам и сводных результатов по группам пациентов; возможность автоматической сегментации РКТ изображений для выделения интересующей области; расчет линейных и объемных параметров образований; автоматическую классификацию образований; представление детальной информации о рекомендуемых для лечения медикаментах и их дозировках (или как альтернативы – использования лучевой терапии); оценка целесообразности проведения хирургического вмешательства и пр.

Кроме того, для удобства пользователей и экономии времени в ПО должны быть функции сохранения данных (прежде всего – графических изображений) в различных форматах и автоматического структурирования на основе шаблонов сводных отчетов по имеющимся данным.

Требования к качеству анализа патологий на РКТ изображениях легких. Предварительные автоматические методы диагностики патологий легких должны удовлетворять определенным требованиям врачей-диагностов. Авторами было организовано проведение экспертного оценивания несколькими врачами-рентгенологами в отношении таких требований.

При этом были выявлены следующие требования: выделение всех новообразований в легких, начиная от 1,5–2 миллиметровых узелков и заканчивая большими опухолями; определение некоторых параметров объектов, которые позволяли бы отнести их к классу доброкачественных или злокачественных образований. Такими параметрами являются следующие: локализация образования (по отношению к плевре и сегменту легкого); его размер (двух- и трехмерное соотношение параметров); объем; плотность; форма (круглая/полигональная); структура (однородная/неоднородная); форма контура.

Эти требования можно считать необходимыми и достаточными, т.к. при определенной их совокупности врач-рентгенолог сразу же может сделать вывод о доброкачественности или злокачественности новообразования.

Например, по мнению врачей-рентгенологов, вогнутые края в большинстве случаев характеризуют доброкачественные образования. Пример для узлового фиброза – представлен на рисунке 3. Однако, в редких случаях вогнутые края встречались и среди злокачественных опухолей (рис. 4 – бронхиолоальвеолярная карцинома, злокачественное образование) [25].

Полигональная форма образования в большинстве случаев указывает на его доброкачественность (рис. 5).

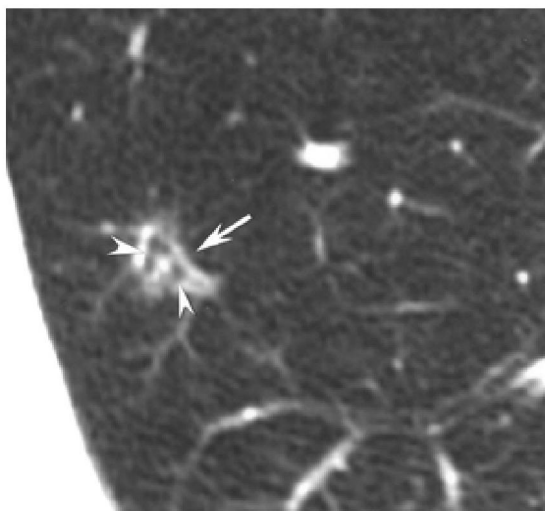


Рис. 3. Узловой фиброз с вогнутыми краями. Доброкачественное образование (Это и последующие изображения получены на РКТ томографе GE BrightSpeed Elite [25])

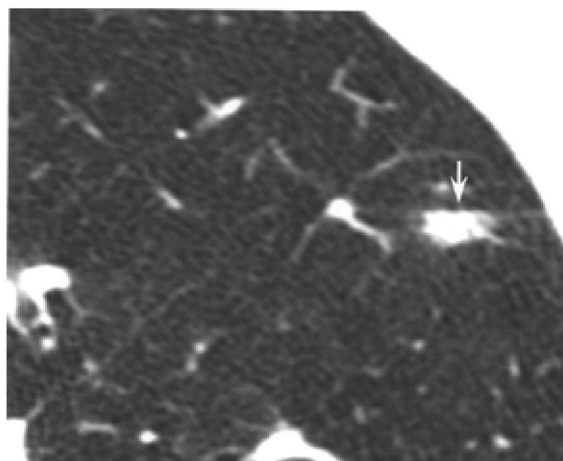


Рис. 4. Бронхиолоальвеолярная карцинома с вогнутыми краями – злокачественное образование

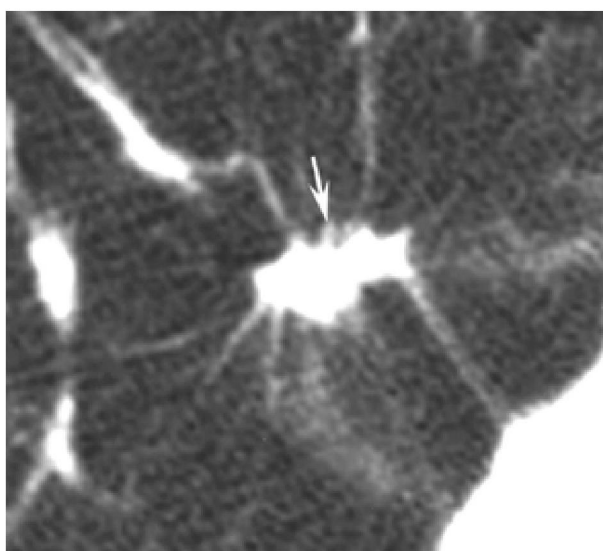


Рис. 5. Узловой фиброз полигональной формы. Доброкачественное образование

Определение одиночных характеристик образований может давать неполную информацию о зоне интереса. Поэтому ключевым моментом в диагностике является определе-

ние соотношения различных комбинаций значений исследуемых параметров. Так, например, совокупность таких характеристик как преимущественно твердое поражение, периферийное субплевроальное положение, полигональная форма или трехмерное соотношение размеров (TCP) образования (отношение максимального поперечного диаметра поражения к его максимальному продольному размеру) более 1.78 указывает на его доброкачественность. Также об этом обычно говорит сочетание высокого TCP и расположение образования в средней или нижней доле легкого. У выявленных злокачественных образований TCP, как правило, было ниже; плотность меньше, а вогнутость краёв сама по себе не несла никакой диагностической значимости [25].

Представим математическую модель для оценки эффективности выявления злокачественных новообразований в легких. Пусть доля (от единицы) допускаемых ошибок 1-го рода (не выявление фактически имеющейся патологии) составляет D_1 , а доля ошибок 2-го рода (ошибочная диагностика объектов как патологий) равна D_2 . Примем, что для одного пациента стоимость обследования (включая диагностику) равна « Z »; положительный эффект от правильного выявления фактически существующей патологии равен « P »; отрицательный эффект от ошибки 1-го рода – $\lambda^{(1)}$; ошибки 2-го рода – $\lambda^{(2)}$. Пусть количество лиц, предполагаемых к обследованию в рамках ПС равно « K ». Тогда суммарный эффект (E) от реализации программы ПС будет равен:

$$E = K(P - D_1\lambda^{(1)} - D_2\lambda^{(2)} - Z) \quad (1)$$

В соответствии с этой моделью улучшение качества выявления патологий на РКТ-изображениях и улучшение качества отнесение их к доброкачественным или злокачественным будет снижать величины $D_1; D_2$. Однако одновременно будет увеличиваться « Z » – т.к. приобретение (или самостоятельная разработка) более совершенного ПО, а также улучшение подготовки медицинского персонала потребуют больших затрат [1].

На сегодняшний день наиболее востребованы проприетарные комплексы ПО, предоставляемые крупными производителями медицинского оборудования для получения изображений. В их числе Siemens CT Oncology Engine (syngo) [22], Philips Brilliance CT [18, 26], General Electric Advantage Workstation [24]. Среди «недостатков» этих комплексов, которые должны быть учтены при разработке системы ПС, можно выделить отсутствие полноценной (комплексной) системы автоматизации и поддержки онтологий. Такая система должна быть задействована в модуле создания рекомендаций и «ведения» пациентов.

Модуль онтологий позволит описывать в компьютерной форме знания из клинических рекомендаций и стандартов оказания медицинской помощи. Эти рекомендации содержат информацию о необходимости выполнения последующих этапов скрининга или лечения; о выборе оптимальных мер профилактики, образа жизни пациентов и пр. Все рекомендации целесообразно строить на основе онтологии клинических рекомендаций и данных о реальных клинических случаях пациентов. Применение онтологического подхода будет играть ключевую роль в процессе принятия решений, поскольку это позволит создавать наиболее точную и максимально приближенную к реальности модель предметной области (например, для сферы онкологии или амбулаторно-поликлинической помощи). Такая модель должна содержать все основные понятия и отношения предметной области, которые так или иначе необходимо учитывать в процессе принятия решений. На рисунке 6 представлены основные составляющие программной системы поддержки ПС, включающей использование онтологий.

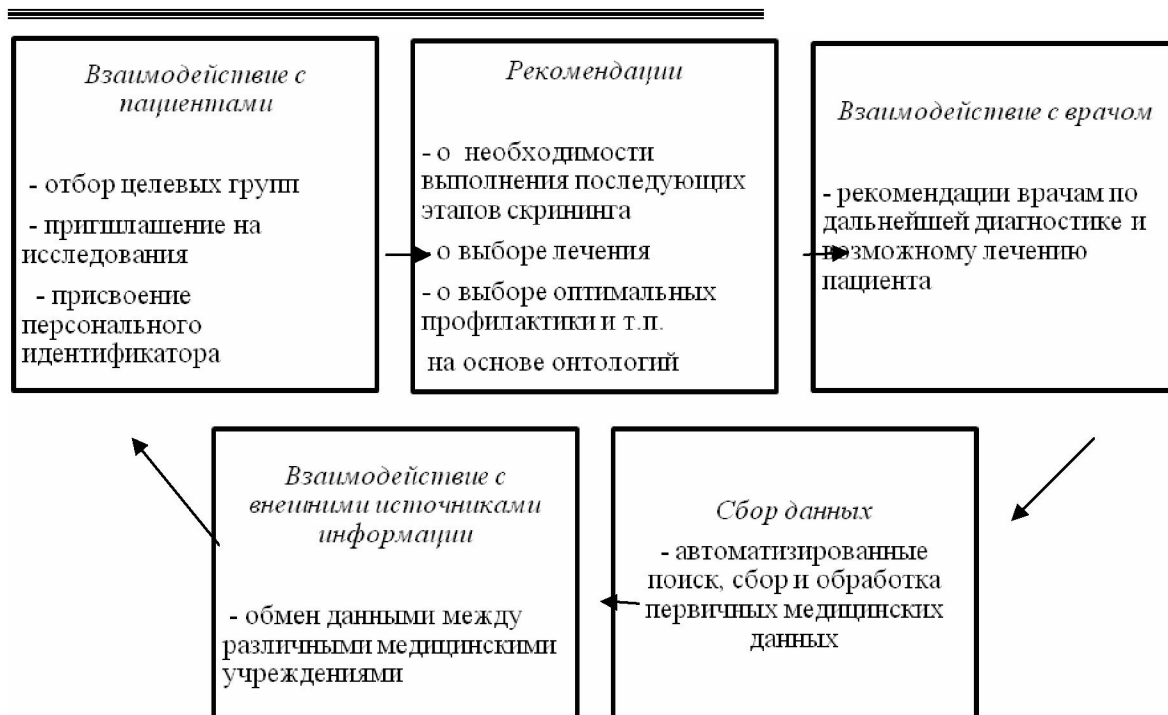


Рис.6. Основные составляющие (компоненты) системы популяционного скрининга рака легких

В рассмотренных источниках информации не было найдено упоминаний о наличии «модуля приглашения на скрининг» в существующем ПО для поддержки ПС. Этот модуль предназначен для автоматизации отбора и приглашения лиц из группы риска на очередные ПС-исследования. При этом необходимо обеспечить «выравнивание» во времени нагрузки на РКТ-оборудование с учетом его номинальной пропускной способности, графика работы медперсонала и пр.

Также в существующем ПО нет модуля контроля качества операций ПС на всех этапах. Контроль качества может относиться к проверкам фактической полноты охвата запланированного контингента; удовлетворенности пациентов от прохождения процедур ПС; точности выявления патологий на РКТ-изображениях и пр.

Кроме того, при разработке системы ПС необходимо соблюдение требований к «стандартизации» ПО. Причина – на качество РКТ изображений влияют различные показатели и обстоятельства: телосложение пациента, сопутствующие заболевания и пр. Эти показатели могут существенно отличаться от исходных параметров, принятых при разработке ПО. В свою очередь, это может оказать влияние на качество диагностики.

Несмотря на то, что многие проблемы по обмену медицинскими данными решило создание единого международного стандарта DICOM, всё равно существуют трудности при автоматической обработке результатов РКТ, полученных на различных аппаратах.

Также может быть достаточно актуальной создание международной тестовой базы РКТ изображений для пациентов с клинически подтвержденными диагнозами. Такая база при достаточно большом объеме изображений могла бы быть использована для оценки (сравнения) эффективности разработанного ПО в некоторых независимых тестовых центрах.

Кроме того, при наличии количественных оценок для изображений подозрительных на наличие онкопатологий, база РКТ-изображений могла бы быть использована для «обучения» многослойных нейронных сетей, в т.ч. и гибридных [2].

Итак, сделаем выводы. 1. Использование РКТ для ПС с целью выявления онкопатологий в легких может быть рациональным только в случае предварительного отбора пациентов, входящих в группу риска. 2. Обеспечения медико-экономической эффективности предлагаемой в статье системы РКТ-скрининга РЛ должно опираться на комплексные решения, включая организационные, технические, информационно-коммуникационные и пр. 3. Предложенные в статье «рамочные требования» к ПО для поддержки ПС скрининга могут быть положены в основу разработки комплексного аппаратно-программного решения.

Список литературы

1. Брумштейн Ю. М. Анализ факторов, методов и модели управления рисками в процессе жизненного цикла медицинских информационных систем / Ю. М. Брумштейн, О. В. Сивер // Известия ЮФУ. Технические науки – 2014. – № 10 (159). – С. 194–196.
2. Брумштейн Ю. М. Функционально-стоимостные характеристики медицинских информационных систем: опыт системного анализа / Ю. М. Брумштейн, О. В. Сивер, А. Б. Кузьмина // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4, ч. 2. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2014/2638, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.05.2015).
3. Галайдин П. А. Расчёт и проектирование электромагнитных систем магниторезонансных томографов : учебное пособие / П. А. Галайдин, В. А. Иванов, М. Я. Марусина. – Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2004. – 87 с.
4. Иванов В. А., Марусина М. Я. Применение теории групп при решении задач реализации измерительных преобразований / В. А. Иванов, М. Я. Марусина // Известия вузов. Приборостроение. – 2000. – Т. 43, № 6. – С. 36–39.
5. Иванов В. А. Обработка измерительной информации в условиях неопределенностей / В. А. Иванов, М. Я. Марусина, В. С. Сизиков // Контроль. Диагностика. – 2001. – № 4. – С. 40–43.
6. Иванов В. А. Инвариантные аппроксимации и их применение в МР-томографии / В. А. Иванов, М. Я. Марусина, А. В. Флегонтов // Научное приборостроение. – 2003. – Т. 13, № 2. – С. 22–26.
7. Лориган П. Рак легкого / П. Лориган. – Москва : Практическая медицина, 2009. – 196 с.
8. Магонов Е. П., Трофимова Т. Н. Автоматическая сегментация МРТ-изображений головного мозга: методы и программное обеспечение / Е. П. Магонов, Т. Н. Трофимова // ИМЧ РАН. Лекции и обзоры. – 2012. – Т. 3, № 3. – С. 35–40.
9. Марусина М. Я. Инвариантный анализ и синтез в моделях с симметриями / М. Я. Марусина. – Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2004. – 144 с.
10. Марусина М. Я. Оптимизация измерительных преобразований на основе теоретико-группового анализа / М. Я. Марусина // Известия вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48, № 3. – С. 27–31.
11. Марусина М. Я. Коррекция неоднородности основного магнитного поля МР-томографа на постоянных магнитах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. Я. Марусина. – Санкт-Петербург : ИТМО, 1993. – 128 с.
12. Марусина М. Я. Методы повышения качества томографических изображений на основе инвариантного анализа и синтеза / М. Я. Марусина // Известия вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48, № 5. – С. 29–33.
13. Марусина М. Я. Современные виды томографии / М. Я. Марусина, А. О. Казначеева. – Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2006. – 151 с.
14. Российский статистический ежегодник. 2009 // Статистический сборник. – Москва : Росстат, 2009. – 795 с.
15. Трахтенберг А. Х. Клиническая онкопульмонология / А. Х. Трахтенберг, В. И. Чиссов // Москва. – 2000. – 599 с.
16. Чисов В. И. Злокачественные образования в России в 2011 году / В. И. Чисов, В. В. Старинский, Г. В. Петрова. – Москва : ФГБУ «МНИОИ им. П. А. Герцена» Минздрава России, 2013. – 289 с.
17. Alilou M. A comprehensive framework for automatic detection of pulmonary nodules in lung ct images / M. Alilou, V. Kovalev, E. Snezhko, V. Taimouri // Image Analysis and Stereology. – 2014. – Vol. 33, № 1. – P. 13-27;

18. De Vries A. H., Jensch S., Liedenbaum M. H. Does a computer-aided detection algorithm in a second read paradigm enhance the performance of experienced computed tomography colonography readers in a population of increased risk? / A. H. De Vries, S. Jensch, M. H. Liedenbaum // *European Radiology*. – 2009. – Vol. 19, № 4. – P. 941–950.
19. Desai S. Lung Cancer / S. Desai // Cambridge University Press. – 2007. – P. 153.
20. Dhawan A. P. Medical Edition Analysis / A. P. Dhawan. – Second Edition. – 2011. – 380 p.
21. Dougherty G. Digital Image Processing for Medical Applications / G. Dougherty. – Cambridge University Press, 2009. – 447 p.
22. Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening / D. R. Aberle, A. M. Adams, C. D. Berg, et al. // *The new England journal of Medicine*. – 2011. – Vol. 365, №5. – P. 395–409.
23. Meyer M., Pease A. F., Lang M. Assistive systems: A paradigm shift in technology and medical care / M. Meyer, A. F. Pease, M. Lang // *Communications in Computer and Information Science, CCIS. International Conference on Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing*. – 2009. – Vol. 53. – P. 1–11.
24. Nietert P. J. Imprecision in automated volume measurements of pulmonary nodules and its effect on the level of uncertainty in volume doubling time estimation / P. J. Nietert, J. G. Ravenel, W. M. Leue // *Chest*. – 2009. – Vol. 135, № 6. – P. 1580–1587.
25. Small Solitary Pulmonary Nodules(1cm) Detected at Population-Based CT Screening for Lung Cancer: Reliable High-Resolution CT Features of Benign Lesions / S. Takashima, S. Sone, F. Li, et al. // *A. J. of Roent.* – 2003. – Vol. 180, №4. – P. 955–964.
26. Wiemker R. Aspects of computer-aided detection (CAD) and volumetry of pulmonary nodules using multislice CT / R. Wiemker, P. Rogalla, T. Blaffert // *British Journal of Radiology*. – 2005. – Vol. 78. – P. S46–S56.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Siver O. V. Analiz faktorov, metodov i modeli upravleniya riskami v protsesse zhiznennogo tsikla meditsinskikh informatsionnykh system [Analysis of the factors, methods and models of risk management during the life cycle of medical information systems]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFU. Science Bulletin], 2014, no. 10 (159), pp. 194–196.
2. Brumshteyn Yu. M., Siver O. V., Kuzmina A. B. Funktsionalno-stoimostnye kharakteristiki meditsinskikh informatsionnykh sistem: opyt sistemnogo analiza [Functionally-value characteristics of medical information systems: experience of system analysis]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Don Bulletin], 2014, no. 4, part 2. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2014/2638 (accessed: 21.05.2015).
3. Galaydin P. A., Ivanov V. A., Marusina M. Ya. Raschet i proektirovanie elektromagnitnykh sistem magnitnozonansnykh tomografov [Calculation and design of electromagnetic systems of MR-imagers], Saint Petersburg, ITMO University Publ. House, 2004. 87 p.
4. Ivanov V. A., Marusina M. Ya. Primenenie teorii grupp pri reshenii zadach realizatsii izmeritelnykh preobrazovaniy [Application of group theory in solving problems of implementation of measuring conversions]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie* [News of Higher Education. Instrumentation], 2000, vol. 43, no. 6, pp. 36–39.
5. Ivanov V. A., Marusina M. Ya., Sizikov V. S. Obrabotka izmeritelnoy informatsii v usloviyakh neopredelennostey [Processing of measurement information under conditions of uncertainty]. *Kontrol. Diagnostika* [Control.Diagnostics], 2001, no. 4, pp. 40–43.
6. Ivanov V. A., Marusina M. Ya., Flegontov A. V. Invariantnye approksimatsii i ikh primeneniye v MR-tomografii [Invariant approximation and its application in MRI]. *Nauchnoe priborostroenie* [Scientific Instrumentation], 2003, vol. 13, no. 2, pp. 22–26.
7. Lorigan P. Rak legkogo [Lung Cuncer], Moscow, *Prakticheskaya meditsina* Publ., 2009. 136 p.
8. Magonov Ye. P., Trofimova T. N. Avtomaticheskaya segmentatsiya MRT-izobrazheniy golovnogogo mozga: metody i programmnoe obespecheni [Automatic segmentation of MR images of the brain: methods and software]. *Leksii i obzory* [Lectures and Reviews], 2010, Vol.3, no.3, pp.35-40
9. Marusina M.Ya. Invariantnyy analiz i sintez v modelyakh s simmetriyami [Invariant analysis and synthesis in models with symmetries], St.Petersburg, ITMO University, 2004, 144p.

10. Marusina M.Ya. Optimizatsiya izmeritelnykh preobrazovaniy na osnove teoretiko-gruppovogo analiza [Optimization of measuring conversions based on group-theoretic analysis]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie*[News of Higher Education. Instrumentation], 2005, issue 48, no.3, pp.27-31
11. Marusina M.Ya. Korrektsiya neodnorodnosti osnovnogo magnitnogo polya MR-tomografa na postoyannykh magnitakh [Inhomogeneity correction of the main magnetic field of MR-scanner on permanent magnets]. Diss. na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. [Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences], St.Petersburg, ITMO University, 1993, 128 p.
12. Marusina M.Ya. Metody povysheniya kachestva tomograficheskikh izobrazheniy na osnove invariantnogo analiza i sinteza [Methods for improving the quality of tomographic images based on the invariant analysis and synthesis]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie*[News of Higher Education. Instrumentation], 2005, issue 48, no.5, pp. 29-33
13. Marusina M.Ya., Kaznacheeva A.O. Sovremennye vidy tomografii [Modern types of tomography], St.Petersburg, ITMO University, 2006, 151p.
14. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik. 2009[Russian Statistical Yearbook.2009]. Statisticheskiy sbornik [Statistical miscellany], Moscow, 2009, 795p.
15. Trakhtenberg A. Kh., Chissov V. I. Klinicheskaya onkopulmonologiya [Clinical Oncopulmonology], Moscow, 2000, 599p.
16. Chisov V.I., Starinskiy V.V., Petrova G.V. Zlokachestvennye obrazovaniya v Rossii v 2011 godu [Malignancies in Russia in 2011]. FGBU «MNIIOI im. P.A. Gertsena» Minzdrava Rossii[Federal State Budgetary Institution P. A. Herzen Moscow Cancer Research Institute, Health Ministry of the Russian Federation], 2013, 289 p.
17. Alilou M., Kovalev V., Snezhko E., Taimouri V. A comprehensive framework for automatic detection of pulmonary nodules in lung ct images // *Image Analysis and Stereology*. – 2014. – Vol. 33, № 1. – P. 13-27
18. De Vries A. H., Jensch S., Liedenbaum M. H. Does a computer-aided detection algorithm in a second read paradigm enhance the performance of experienced computed tomography colonography readers in a population of increased risk? // *European Radiology*. – 2009. – Vol. 19, № 4. – P. 941-950
19. Desai S. Lung Cancer // Cambridge University Press. – 2007. – P. 153
20. Dhawan A.P. Medical Edition Analysis. Second Edition. – IEE Press. – 2011. – 380p
21. Dougherty G. Digital Image Processing for Medical Applications. - Cambridge University Press. – 2009. – 447p
22. Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening /Aberle D.R., Adams A.M., Berg C.D. et al. // *The new England journal of Medicine*, 2011. - V.365. - №5. – P.395-409
23. Meyer M., Pease A. F., Lang M. Assistive systems: A paradigm shift in technology and medical care // *Communications in Computer and Information Science, CCIS. International Conference on Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing, IMC, Germany, 2009*. – Vol. 53. – P. 1-11
24. Nietert P. J., Ravenel J. G., Leue W. M. Imprecision in automated volume measurements of pulmonary nodules and its effect on the level of uncertainty in volume doubling time estimation // *Chest*. – 2009. – Vol. 135, № 6. – P. 1580-1587
25. Small Solitary Pulmonary Nodules(1cm) Detected at Population-Based CT Screening for Lung Cancer: Reliable High-Resolution CT Features of Benign Lesions / S.Takashima,S.Sone,F.Li et al.//*A.J.of Roent.* – 2003. – Vol.180,№ 4. – p.955-964
26. Wiemker R., Rogalla P., Blaffert T. Aspects of computer-aided detection (CAD) and volumetry of pulmonary nodules using multislice CT // *British Journal of Radiology*. – 2005. – Vol. 78. – P. S46-S56