

УДК 618.19:616-073.75

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ЛУЧЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

¹М. К. Михайлов, ²Е. А. Романычева, ³В. В. Севастьянов, ³Я. А. Фурман

¹Казанская государственная медицинская академия — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, Казань, Россия

²Республиканский онкологический диспансер Республики Марий Эл, Йошкар-Ола, Россия

³Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

Рентгеновская маммография считается одним из основных методов диагностики злокачественных опухолей молочных желез. Поскольку заключение в основном делается на основе визуального анализа аналогового снимка или цифрового рентгеновского изображения молочной железы, его объективность во многом зависит от профессионального опыта врача-рентгенолога. Таким образом, актуальной задачей является автоматизация процесса анализа рентгеновских маммограмм. Целью данной работы является разработка метода автоматической классификации типов новообразований на рентгеновских маммограммах. Для этого на основе математического аппарата контурного анализа аналитически описываются границы уплотнений в теле молочной железы. Установлено, что злокачественные новообразования характеризуются контурами изрезанной формы. Это позволяет установить тип новообразования на основе вычисления коэффициента прямолинейности контура. Определены значения коэффициентов прямолинейности для злокачественных и доброкачественных новообразований. На репрезентативной выборке пациентов с предварительно известным диагнозом получены приемлемые результаты классификации, что свидетельствует о работоспособности предложенного метода.

Ключевые слова: рентгеновская маммография; злокачественные новообразования молочной железы; критерии злокачественности; математические методы контурного анализа; количественный анализ.

PERSPECTIVE METHODS FOR CONTOUR ANALYSIS OF RADIOGRAPHIC IMAGES OF MALIGNANT BREAST TUMORS

¹M. K. Mikhailov, ²E. A. Romanycheva, ³V. V. Sevastyanov, ³Ya. A. Furman

¹Kazan State Medical Academy Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russia

²Republican Oncology Dispensary, Yoshkar-Ola, Russia

³Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

X-ray mammography is considered one of the primary diagnostic methods for malignant breast tumors. Since the conclusion is mainly based on the visual analysis of analog or digital X-ray images of the breast, the objectivity of the method is highly dependent on the professional experience of the radiologist. Therefore, the automation of the process of analyzing X-ray mammograms is a relevant task. The present study aims to develop a method for the automatic classification of the types of tumors on x-ray mammograms. To this end, the boundaries of breast tissue densities were described analytically using the mathematical apparatus of contour analysis. It has been found that malignant tumors are characterized by rough contours, which enables the determination of the tumor type by calculating the straightness coefficient of its contour. The straightness coefficient values for malignant and benign tumors have been found. Based on a representative sample from the patients with a previously known diagnosis, consistent classification results have been obtained which is an indication of the feasibility of the proposed method.

Key words: X-ray mammography; malignant breast tumors; criteria of malignancy; mathematical methods of contour analysis; quantitative analysis.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-2-40-45>

Введение. Интерпретация результатов лучевой диагностики злокачественных опухолей молочных желез по маммограммам базируется в основном

на визуальном анализе и зависит от функционального состояния органа зрения и головного мозга врача-специалиста. Задачей врача-рентгенолога является рас-

познавание с наибольшей вероятностью патологических образований на рентгеновской маммограмме.

Организм человека представляет собой сложную функциональную систему с прямыми и обратными связями. Одной из функциональных систем является зрительная система человека. На нее падает основная нагрузка при анализе рентгеновских маммограмм. При помощи органа зрения производится поиск, обнаружение и фиксация зрительной информации, ее восприятие и опознавание, поиск значимого параметра в визуальном изображении, обнаружение изменений в изображении. Изменения в органе зрения могут быть обусловлены начальной катарактой, макулодистрофией сетчатки, возрастной дегенерацией сетчатки, помутнением стекловидного тела, частичной атрофией зрительных нервов, которые влияют на качество анализа рентгеновских маммограмм.

При визуальном анализе рентгеновской маммограммы врач главным образом обращает внимание на форму контура новообразования. Математический аппарат контурного анализа позволяет количественно описывать формы контуров объектов. С целью разработки методики объективной диагностики типа новообразований на рентгеновских маммографических изображениях было принято решение использовать математическое моделирование на базе контурного анализа, позволяющего повысить объективность исследования, уменьшить трудоемкость анализа данных. Использование контурного анализа обеспечивает возможность разработки методов объективной диагностики рака молочной железы в автоматическом режиме [1], что особенно важно для рентгенологов с небольшим опытом работы.

Цель: совершенствование метода лучевой диагностики злокачественных опухолей молочной железы путем использования математического аппарата контурного анализа.

Материалы и методы. В ходе исследования проведена ретроспективная оценка 168 комплектов маммограмм пациенток в возрасте от 38 до 82 лет с морфологически верифицированным раком молочной железы и 100 комплектов маммограмм пациенток контрольной группы аналогичной возрастной категории, при анализе которых патологических изменений в молочных железах обнаружено не было. Снимки маммограмм произведены в стандартных краниокаудальной и медиолатеральной косой проекциях с помощью аналогового маммографа «MammoDiagnostUC». Все аналоговые рентгеновские маммограммы подверглись оцифровке с помощью сканера изображений Canon IR-5220 в высоком разрешении 600 dpi целью их последующей обработки на ЭВМ. Дальнейший анализ изображений на ЭВМ связан с сегментацией изображений новообразований с минимальным искажением формы их контуров, вычислением коэффициентов линейности контуров новообразований и диагности-

кой типа новообразований исходя из значений их коэффициентов линейности.

После оцифровки изображение рентгеновской маммограммы можно представить как матрицу произвольной размерности, каждый элемент которой (пиксел) кодирует светимость точки. На языке C++ с использованием библиотек Qt и OpenCV был разработан программный комплекс для анализа изображений рентгеновских маммограмм [2, 3], вид которого представлен на рис. 1.

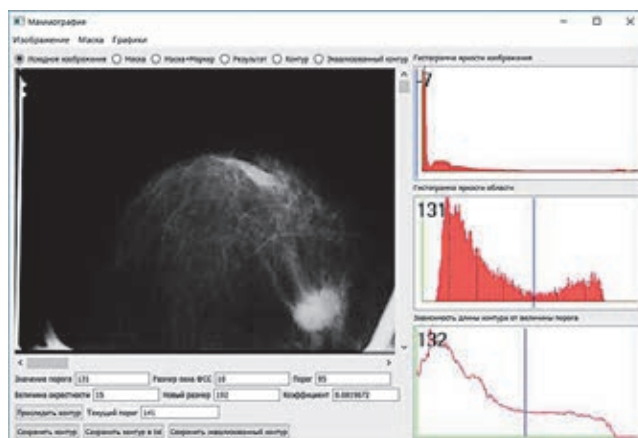


Рис. 1. Программный комплекс для анализа изображений рентгеновских маммограмм

Для обработки используются восьмибитные изображения, благодаря чему значения яркостей пикселей изменяются от 0 до 255. Чем ярче пиксел, тем выше его значение яркости, черному цвету соответствует нулевое значение яркости. В работе описан алгоритм локально-оптимальной обработки изображений [4], позволяющий сегментировать объекты на полутоновом изображении с минимальным искажением их формы. Данный метод используется для сегментации изображений новообразований в теле молочной железы. Для уточнения типа новообразования врачу на изображении необходимо выделить область интереса (см. рис. 2, а). Далее программа строит гистограмму яркости выделенной области изображения (см. рис. 2, б). Гистограмма состоит из двух компонент. Первая, расположенная в пределах изменения яркости от I_{min} до I_m , характеризует распределения яркостей фоновых пикселей изображения. Вторая компонента, расположенная в пределах изменения яркостей от I_m до I_{max} , характеризует распределения яркостей пикселей новообразования. После построения гистограммы изображения выбирается пороговое значения яркости $I_{пор}$, расположенное между двумя указанными ранее областями на гистограмме, и выполняется пороговая обработка изображения. Пороговая обработка изображения заключается в том, что всем пикселям, яркость которых соответствует фону изображения (изменяется от I_{min} до I_m) присваивается нулевое значение яркости, а пикселям, значения яркостей которых соответствует новообразованию (изменяет-

ся от I_m до I_{max}) присваивается максимальное значение яркости 255. Далее программа автоматически прослеживает контур новообразования по методу Розенфельда.

Под контуром изображения новообразования будем понимать последовательность комплексных чисел, каждое из которых задает вектор на плоскости, соединяющий соседние граничные пиксели изображения новообразования (см. рис. 2, в). Контурные являются областями на маммограммах с высокой концентрацией информации, слабо зависящей от света и яркости. Контур целиком опреде-

порога (см. рис. 2, з). В полученной зависимости находится точка глобального минимума, расположенная в окрестности порогового значения I_m . Значение яркости, соответствующее найденной точке I_{opt} , является оптимальным для пороговой обработки маммографического изображения, при котором получается контур новообразования с минимальным искажением формы. После пороговой обработки изображения со значением порога I_{opt} вновь осуществляется прослеживание контура новообразования, дальнейшие операции выполняются с найденным контуром.

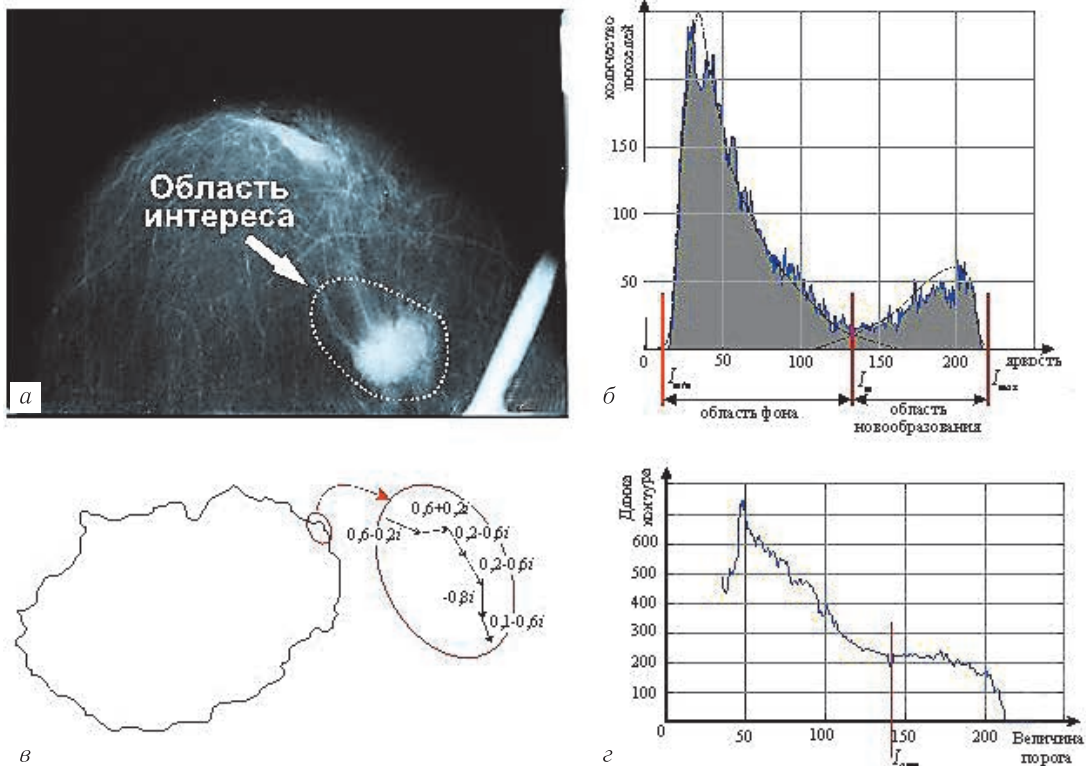


Рис. 2. Иллюстрация получения контура новообразования с помощью процедуры локально-оптимальной пороговой обработки изображений: *a* — сканированное изображение рентгеновской маммограммы с выделенной областью интереса; *б* — гистограмма яркости выделенной области; *в* — контур уплотнения в теле молочной железы, полученный с помощью процедуры локально-оптимальной обработки изображения; *г* — зависимость длины контура новообразования от величины порога по яркости

ляет форму рентгеновского изображения и содержит всю необходимую информацию для распознавания изображений по их формам. Это позволяет значительно сократить объем обрабатываемой информации за счет перехода от анализа функции двух переменных к функции одной переменной. Контурный анализ значительно расширяет кругозор молодого врача-рентгенолога, позволяя с единых позиций подходить к обработке оптических видов изображений на рентгеновских маммограммах.

После прослеживания контура новообразования в соответствии с методом локально-оптимальной пороговой обработки изображений осуществляется поиск такого порога по яркости, при котором происходит минимальное искажение формы изображения новообразования. Для этого строится зависимость длины контура новообразования от значения

Как было отмечено ранее, прослеженный контур уплотнения кодируется последовательностью комплексных чисел $\Gamma = \{\gamma(m)\}_{m=0, \dots, M}$. Далее проверяется гипотеза о принадлежности каждого вектора $\gamma(m)$ контура новообразования к прямолинейному участку контура, т.е. проверяется, лежит ли вектор $\gamma(m)$ на прямой. Для этого для вектора $\gamma(m)$ вычисляется индекс прямолинейности, определяемый выражением

$$\rho(m) = \frac{\sum_{n=m}^{n+d-1} \gamma(n)}{\sum_{n=m}^{n+d-1} |\gamma(n)|}, \quad m = 0, 1, \dots, s-1, \quad (1)$$

Считается, что вектор $\gamma(m)$ лежит на прямом отрезке, если его индекс прямолинейности $\rho(m)$

больше 0,9, в противном случае считается, что вектор лежит на кривой. Значение d определяет размер области контура для вычисления индекса прямолинейности, для обработки контуров в данной работе $d=10$. Векторы контура, лежащие на отрезке прямой, будем обозначать $\gamma(l)$, где l множество из L номеров векторов контура новообразования, лежащих на отрезке прямой. На завершающем этапе анализа контура новообразования вычисляется индекс прямолинейности всего контура, равный отношению суммарной длины его векторов, лежащих на прямолинейных участках, ко всей длине контура:

$$k = \frac{\sum_{l=0}^{L-1} |\gamma(l)|}{\sum_{m=0}^{M-1} |\gamma(m)|}. \quad (2)$$

По рассчитанному значению коэффициента прямолинейности осуществляется классификация объекта на изображении.

Результаты и их обсуждение. При визуальном анализе изображений рентгеновских маммограмм были получены различия в формах доброкачественных и злокачественных новообразований. При обработке 268 комплектов оцифрованных маммограмм было установлено, что контуры объектов уплотнений ткани молочной железы доброкачественной природы имеют коэффициент прямолинейности в диапазоне от 0,3–0,4, в то время как контуры злокачественных опухолей характеризуются низким значением данного показателя — порядка 0,05–0,1. При анализе 100 комплектов изображений маммограмм здоровых пациентов с помощью предложенного метода 98 из них были классифицированы как норма, при анализе 168 комплектов маммограмм, содержащих злокачественные новообразования правильно были классифицированы 160. Таким образом, полученные оценки вероятностей правильной классификации, равные 0,98 и 0,95 для злокачественных и доброкачественных новообразований соответственно, свидетельствуют об эффективности применения предложенного метода классификации новообразований в тканях молочной железы [5–9]. На рис. 3, *a* и *б* представлены примеры прослеженных контуров уплотнений молочных желез пациенток в возрасте 46 лет и 52 лет с морфологически верифицированным раком молочной железы. Видно, что прослеженные контуры состоят из волнообразных линий с длинными узкими выбросами, коэффициенты линейности для прослеженных контуров равны 0,02 и 0,05 соответственно. На рис. 3, в представлен пример обработки изображения рентгеновской маммограммы с уплотнением паренхимы молочной железы здоровой обследуемой в возрасте 39 лет. Выделенный контур уплотнения имеет вытянутую форму с наличием прямолинейных фрагментов. Вычисленный коэффициент прямолинейности контура равен 0,229, что позволяет сде-

лать обоснованный вывод о доброкачественном характере образования в соответствии с предложенным методом.

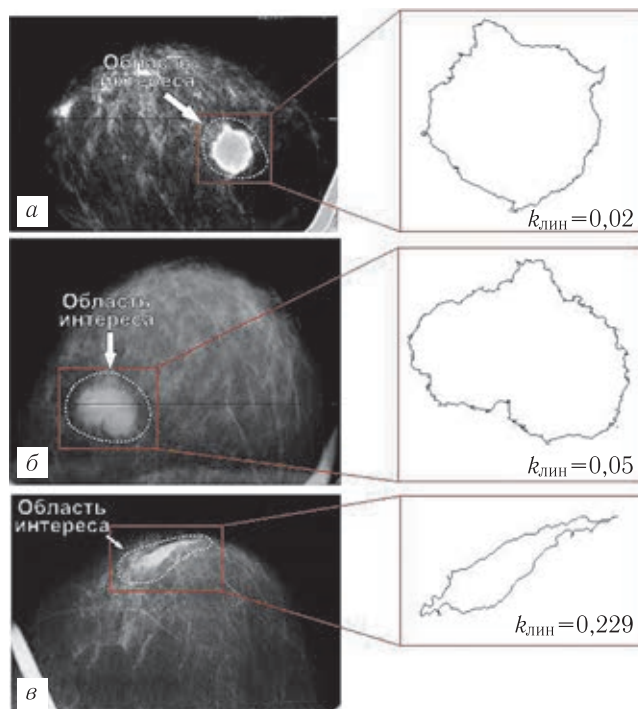


Рис. 3. Контуры уплотнений тканей молочных желез, полученные с использованием процедуры локально-оптимальной пороговой обработки изображений: *a* — контур злокачественного новообразования в теле молочной железы пациентки в возрасте 46 лет; *б* — контур злокачественного новообразования в теле молочной железы пациентки в возрасте 52 лет; *в* — контур уплотнения паренхимы в теле молочной железы доброкачественной природы пациентки в возрасте 39 лет

Диагностика непальпируемых узловых образований молочных желез затруднительна и поэтому, наряду с производством обзорных маммограмм, требует применения специальных методик исследования. Важной проблемой программ маммографического скрининга рака молочной железы, снижающей его чувствительность и специфичность, на сегодняшний день остается плотная паренхима железы. Для решения этой проблемы требуется выполнение дополнительных диагностических исследований, что увеличивает общие затраты. В последнее время отмечается нарастающее повышение интереса к разработке систем компьютерного выявления патологических образований (CAD — от англ. Computer-Aided Detection) на лучевых изображениях [10–13]. Информационные технологии позволяют обрабатывать изображение в целях оптимизации его восприятия в виде отдельного фрагмента, а также с краевым усилением, что повышает его резкость. Возможность цифровой субтракции, т.е. вычитания части деталей изображения, позволяет сконцентрироваться на главной зоне интереса. Компьютерное распознавание увеличивает точность расшифровки деталей при анализе маммограмм,

обращая внимание врача-рентгенолога на потенциально опасные участки, которые могли бы быть не замечены, что в конечном счете помогает правильно поставить диагноз и увеличивает шансы на сохранение жизни пациента. Результат работы систем CAD — привлечение внимания врача к зоне интереса на изображении, которое фиксируется пометками на экране компьютера [1, 14–17].

В ходе проведенной работы по результатам анализа рентгеновских маммограмм предикторами для их обработки методами контурного анализа стали значимые рентгенологические признаки злокачественных поражений. Рентгенологическими паттернами рака молочной железы для объемного образования являются неровность, нечеткость контура опухолевого узла с наличием спикурообразных (лучистых) тяжей по периферии и его неправильная форма (звездчатая, амбовидная) [18, 19]. Использование метода контурного анализа дает возможность получить количественную оценку результатов исследований.

Выводы. Рентгеновская маммография является ценным методом в диагностике злокачественных опухолей молочных желез. Прогресс в данном направлении связан с разработкой аппаратно-программных комплексов цифровой маммографии, поз-

воляющих диагностировать заболевания на ранней стадии с помощью компьютерной обработки изображений. Среди производителей таких комплексов можно отметить «Медицинские технологии», «Рентгенпром», «ANALOGIC CORPORATION». Однако подавляющее большинство лечебных учреждений в России в настоящее время располагают лишь пленочными маммографами, что не позволяет получить результаты исследований в количественном виде. Кроме того, алгоритмы обработки рентгеновских маммограмм, реализованные в современных аппаратно-программных комплексах, представляют коммерческую тайну фирмы-производителя медицинской техники и отсутствуют в открытом доступе.

В связи с вышеизложенным осуществление подхода с применением аналоговых маммографических снимков для диагностики типа новообразований молочных желез с использованием современных методов цифровой обработки изображений и теории контурного анализа является актуальной задачей для отечественного здравоохранения. Предложенный на основе контурного анализа количественный подход к диагностике злокачественных опухолей молочных желез повышает объективность принимаемых решений и является перспективным.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Рожкова Н.И., Бурдина И.И., Дабагов А.Р., Мазо М.Л., Прокопенко С.П., Якобс О.Э. *Лучевая диагностика в маммологии: руководство для врачей*. М.: СИМК, 2014. [Rozhkova N.I., Burdina I.I., Dabagov A.R., Mazo M.L., Prokopenko S.P., Yakobs O.Eh. *Luchevaya diagnostika v mammologii: rukovodstvo dlya vrachej*. Moscow: Izdatel'stvo SIMK, 2014 (In Russ.).]
2. Романычева Е.А., Иванов К.О., Батухтин Д.М., Севастьянов В.В., Фурман Я.А., Ерусланов Р.В. *Программа для количественной оценки формы контуров объектов маммографического изображения, версия 1.0*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612821 от 26.02.2015 г. [Romanycheva E.A., Ivanov K.O., Batuhitin D.M., Sevast'yanov V.V., Furman Ya.A., Eruslanov R.V. *Programma dlya kolichestvennoj ocenki formy konturov ob'ektov mammograficheskogo izobrazheniya, versiya 1.0*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHVМ No 2015612821 ot 26.02.2015 g. (In Russ.).]
3. Романычева Е.А., Иванов К.О., Батухтин Д.М., Севастьянов В.В., Фурман Я.А., Ерусланов Р.В. *Программа для сегментации объектов маммографического рентгеновского изображения с минимальным искажением их формы, версия 1.0*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612897 от 26.02.2015 г. [Romanycheva E.A., Ivanov K.O., Batuhitin D.M., Sevast'yanov V.V., Furman Ya.A., Eruslanov R.V. *Programma dlya segmentacii ob'ektov mammograficheskogo rentgenovskogo izobrazheniya s minimal'nyim iskazheniem ih formy, versiya 1.0*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHVМ No 2015612897 ot 26.02.2015 g. (In Russ.).]
4. Фурман Я.А., Кривецкий А.В., Передерев А.К. *Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов*. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. [Furman Ya.A., Kriveckij A.V., Peredreev A.K. *Vvedenie v konturnyj analiz i ego prilozheniya k obrabotke izobrazhenij i signalov*. 2-e izd., ispr. Moscow: Izdatel'stvo FIZMATLIT, 2003 (In Russ.).]
5. Романычева Е.А., Батухтин Д.М., Иванов К.О., Севастьянов В.В., Фурман Я.А., Ерусланов Р.В. Классификация объектов по их форме на маммографических изображениях методами контурного анализа // *Вестник Поволжского государственного технологического университета, серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы»*. 2014. № 4 (23). С. 58–71. [Romanycheva E.A., Batuhitin D.M., Ivanov K.O., Sevast'yanov V.V., Furman Ya.A., Eruslanov R.V. Klassifikaciya ob'ektov po ih forme na mammograficheskikh izobrazheniyah metodami konturnogo analiza. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, seriya «Radiotekhnicheskie i infokommunikacionnye sistemy»*, 2014, No. 4 (23), pp. 58–71 (In Russ.).]
6. Михайлов М.К., Севастьянов В.В., Фурман Я.А., Романычева Е.А. *Дифференциальная диагностика изображений новообразований с сильной вариабельностью формы на рентгенологических маммограммах методами контурного анализа: Материалы IX Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «РАДИОЛОГИЯ-2015»*. М., 2015. № 5 (2). 112 с. [Mihajlov M.K., Sevast'yanov V.V., Furman Ya.A., Romanycheva E.A. *Differencial'naya diagnostika izobrazhenij novoobrazovaniy s sil'noj variabel'nost'yu formy na rentgenologicheskikh mammogrammah metodami konturnogo analiza: Materialy IX Vserossijskogo nacional'nogo kongressa luchevyh diagnostov i terapevtov «RADIOLOGIYA-2015»*. Moscow, 2015, No. 5 (2). 112 p. (In Russ.).]

7. Батухтин Д.М., Романычева Е.А., Севастьянов В.В., Иванов К.О., Фурман Я.А. Комбинированная методика классификации объектов на маммографических изображениях // *Медицинская техника*. 2016. № 2 (296). С. 19–22. [Batuhtin D.M., Romanycheva E.A., Sevast'yanov V.V., Ivanov K.O., Furman Ya.A. Kombinirovannaya metodika klassifikatsii ob'ektov na mammoigraficheskikh izobrazheniyah. *Medicinskaya tekhnika*, 2016, No. 2 (296), pp. 19–22 (In Russ.)].
8. Михайлов М.К., Романычева Е.А., Севастьянов В.В., Фурман Я.А. *Метод контурного анализа новообразований на рентгеновских маммограммах*: Материалы Юбилейного Конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. М., 2016. 141 с. [Mihajlov M.K., Romanycheva E.A., Sevast'yanov V.V., Furman Ya.A. *Metod konturnogo analiza novoobrazovaniy na rentgenovskih mammogrammah*: Materialy Yubilejnogo Kongressa Rossijskogo obshchestva rentgenologov i radiologov. Moscow, 2016. 141 p. (In Russ.)].
9. Romanycheva E.A., Sevastyanov V.V., Furman Ya.A. *Method of contour analysis of neoplasms in X-ray mammograms: Proceedings of the European Congress of Radiology (ECR 2016)*. 2016. March 2–6; Vienna, Austria. http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&doi=10.1594/ecr2016/C-0073.
10. Baker J.A., Rosen E.L., Lo J.Y., Gimenez E.I., Walsh R., Soo M.S. Computer-Aided Detection (CAD) in screening mammography: sensitivity of commercial CAD systems for detecting architectural distortion // *Am. J. Roentgenol.* 2003. Vol. 181. P. 1083–1088. DOI: 10.2214/ajr.181.4.1811083.
11. Dheeba J., Albert Singh N., Tamil Selvi S. Computer-aided detection of breast cancer on mammograms: A swarm intelligence optimized wavelet neural network approach // *J. Biomed. Inform.* 2014. Vol. 49. P. 45–52.
12. Lehman C.D., Wellman R.D., Buist D.S., Kerlikowske K., Tosteson A.N., Miglioretti D.L. Diagnostic accuracy of digital screening mammography with and without computer-aided detection // *JAMA Intern. Med.* 2015. Vol. 175 (11). P. 1828–1837. DOI: 10.1001/jamainternmed.2015.5231.
13. Calas M.G.B., Gutfilen B. Pereira W.C.A. CAD and mammography: why use this tool? // *Radiol. Bras.* 2012. Vol. 45 (1). P. 25–29.
14. Рожкова Н.И. Рентгенорадиологические технологии в диагностике онкологических заболеваний // *Поликлиника. Лучевая диагностика. Спецвыпуск*. 2014. № 3. С. 20–22. [Rozhkova N.I. Rentgenoradiologicheskie tekhnologii v diagnostike onkologicheskikh zaboolevanij. *Poliklinika. Luchevaya diagnostika. Specvypusk*, 2014, No. 3, pp. 20–22 (In Russ.)].
15. Рожкова Н.И. Лучевые методы обследования молочных желез // *Поликлиника. Лучевая диагностика. Спецвыпуск*. 2013. № 3. С. 28–30. [Rozhkova N.I. Luchevye metody obsledovaniya molochnyh zhelez. *Poliklinika. Luchevaya diagnostika. Specvypusk*, 2013, No. 3, pp. 28–30 (In Russ.)].
16. Рожкова Н.И., Горшков В.А., Киреева М.Н. и др. *Цифровая маммологическая клиника*. Технологии визуализации. М.: СИМК, 2012. [Rozhkova N.I., Gorshkov V.A., Kireeva M.N. et al. *Cifrovaya mammologicheskaya klinika. Tekhnologii vizualizacii*. Moscow: Izdatel'stvo SIMK, 2012. (In Russ.)].
17. Рожкова Н.И., Прокопенко С.П. *Рентгенологическая визуализация молочной железы* // Научно-технический прогресс и радиология: материалы форума. Астана, Казахстан, 19–20 сентября 2013 г.. Астана, 2013. С. 159–169. [Rozhkova N.I., Prokopenko S.P. *Rentgenologicheskaya vizualizaciya molochnoj zhelezy* // Nauchno-tekhnicheskij progress i radiologiya: materialy foruma. Astana, Kazahstan, 19–20 sentyabrya 2013 g. Astana, 2013, pp. 159–169 (In Russ.)].
18. Тамкович С.Н., Войццкий В.Е., Лактионов П.П. Современные методы диагностики рака молочной железы // *Биомедицинская химия*. 2014. № 60 (2). С. 141–160. [Tamkovich S.N., Vojcickij V.E., Laktionov P.P. *Sovremennye metody diagnostiki raka molochnoj zhelezy*. *Biomedicinskaya himiya*, 2014, No. 60 (2), pp. 141–160 (In Russ.)].
19. Шах Б.А., Фундаро Д.М., Мандава С. *Лучевая диагностика заболеваний молочной железы*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. [Shah B.A., Fundaro D.M., Mandava S. *Luchevaya diagnostika zaboolevanij molochnoj zhelezy*. Moscow: Izdatel'stvo BINOM. Laboratoriya znaniy, 2014. (In Russ.)].

Поступила в редакцию: 20.03.2018 г.

Контакт: Романычева Екатерина Андреевна, katerina.rrr@bk.ru

Сведения об авторах:

Михайлов Марс Константинович — доктор медицинских наук, профессор, академик Академии наук Республики Татарстан, заведующий кафедрой лучевой диагностики, заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Татарстан, ГБОУ ДПО «Казанская государственная медицинская академия» — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 420012, Казань, ул. Бутлерова, д. 36; e-mail: mikhailovmk@mail.ru;

Романычева Екатерина Андреевна — врач-рентгенолог 2 категории ГБУ Республики Марий Эл «Республиканский онкологический диспансер»; 424037, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22; e-mail: katerina.gtt@bk.ru;

Севастьянов Виктор Викторович — доктор медицинских наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3; e-mail: crp@mar-el.ru;

Фурман Яков Абрамович — доктор технических наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»; 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3; e-mail: FurmanYA@volgatech.net.