

УДК: 004.9:61:007+ 615.47-114:616-07-08

## **Компьютерный автоматизированный анализ в задачах распознавания медицинских изображений на примере сцинтиграфии**

**Н. Э. Косых<sup>1</sup>, Н. М. Свиридов<sup>2</sup>, С. З. Савин<sup>1,a</sup>, Т. П. Потапова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Вычислительный центр ДВО РАН,  
Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, д. 65

<sup>2</sup> Тихоокеанский государственный университет,  
Россия, 680033, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 135

<sup>3</sup> Дальневосточный государственный медицинский университет,  
Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 35

E-mail: <sup>a</sup>savin.sergei@mail.ru

*Получено 13.02.2016, после доработки – 14.04.2016.*

*Принято к публикации 15.04.2016.*

С помощью программы, созданной на принципах компьютерного автоматизированного анализа, на планарных сцинтиграммах скелета больных диссеминированным раком молочной железы выделены очаги гиперфиксации радиофармпрепарата. Рассчитаны гистограммные параметры: средняя яркость, гладкость яркости, третий момент яркости, однородность яркости, энтропия яркости. Установлено, что в большинстве зон скелета значения гистограммных параметров в патологических очагах гиперфиксации преобладают над аналогичными значениями в физиологических. Наиболее часто в патологических очагах гиперфиксации, как на передних, так и на задних сцинтиграммах, фиксируется преобладание показателей яркости и гладкости яркости изображения по сравнению с аналогичными показателями физиологических очагов гиперфиксации радиофармпрепарата. Отдельные показатели гистограммного анализа используются в уточняющей диагностике метастазов при математическом моделировании и интерпретации данных остеосцинтиграфии.

Ключевые слова: компьютерный автоматизированный анализ (КАД), распознавание образов, планарные сцинтиграммы, очаги гиперфиксации (ОГФ), радиофармпрепарат (РФП), гистограмма, яркость изображения



UDC: 004.9:61:007+ 615.47-114:616-07-08

## Computer aided analysis of medical image recognition for example of scintigraphy

N. E. Kosykh<sup>1</sup>, N. M. Sviridov<sup>2</sup>, S. Z. Savin<sup>1, a</sup>, T. P. Potapova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Computer Center of Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
65 Kim U Chen st., Khabarovsk, 680000, Russia

<sup>2</sup> Pacific National University,  
135 Tihookeanskaya st., Khabarovsk, 680033, Russia

<sup>3</sup> Far Eastern State Medical University,  
35 Muraviev-Amursky st., Khabarovsk, 680000, Russia

E-mail: <sup>a</sup> savin.sergei@mail.ru

*Retrieved 13.02.2016, after completion – 14.04.2016.*

*Accepted for publication 15.04.2016.*

The practical application of nuclear medicine demonstrates the continued information deficiency of the algorithms and programs that provide visualization and analysis of medical images. The aim of the study was to determine the principles of optimizing the processing of planar osteosintigraphy on the basis of computer aided diagnosis (CAD) for analysis of texture descriptions of images of metastatic zones on planar scintigrams of skeleton. A computer-aided diagnosis system for analysis of skeletal metastases based on planar scintigraphy data has been developed. This system includes skeleton image segmentation, calculation of textural, histogram and morphometrical parameters and the creation of a training set. For study of metastatic images' textural characteristics on planar scintigrams of skeleton was developed the computer program of automatic analysis of skeletal metastases is used from data of planar scintigraphy. Also expert evaluation was used to distinguishing 'pathological' (metastatic) from 'physiological' (non-metastatic) radiopharmaceutical hyperfixation zones in which Haralick's textural features were determined: autocorrelation, contrast, 'fourth moment' and heterogeneity. This program was established on the principles of computer aided diagnosis researches planar scintigrams of skeletal patients with metastatic breast cancer hearths hyperfixation of radiopharmaceuticals were identified. Calculated parameters were made such as brightness, smoothness, the third moment of brightness, brightness uniformity, entropy brightness. It has been established that in most areas of the skeleton of histogram values of parameters in pathologic hyperfixation of radiopharmaceuticals predominate over the same values in the physiological. Most often pathological hyperfixation of radiopharmaceuticals as the front and rear fixed scintigrams prevalence of brightness and smoothness of the image brightness in comparison with those of the physiological hyperfixation of radiopharmaceuticals. Separate figures histogram analysis can be used in specifying the diagnosis of metastases in the mathematical modeling and interpretation bone scintigraphy. Separate figures histogram analysis can be used in specifying the diagnosis of metastases in the mathematical modeling and interpretation bone scintigraphy.

**Keywords:** Computer-Aided Diagnostic (CAD-analysis), pattern recognition, planar scintigrams, hyperfixation, radiopharmaceuticals, histogram, image brightness

**Citation:** *Computer Research and Modeling*, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 541–548 (Russian).

© 2016 Nicolaj E. Kosykh, Nikita M. Sviridov, Sergej Z. Savin, Tat'jana P. Potapova



## Введение

Радионуклидные методы исследования заболеваний предназначены для визуализации функционального и отчасти анатомического состояния органов и тканей при помощи излучения, полученного от введенного внутрь радиофармацевтического препарата [Паша, Терновой, 2008]. Радионуклидная диагностика неразрывно связана с математическими задачами распознавания патологических процессов в органах и тканях с помощью радиоактивных атомов или молекул [Косых, Смагин, Гостюшкин, Савин и др., 2011]. Бурный рост высокопроизводительных вычислительных технологий наряду со всё возрастающими возможностями высокотехнологичной медицины, прежде всего ядерной [Гостюшкин, Косых, Савин, 2013], во многом определили формирование перспективного научного направления — создание систем компьютерного анализа медицинских изображений [Гриценко, Ульянычев, 2010; The Medical Image..., 2015]. Большая часть исследований по созданию CAD-систем (CAD — *Computer-Aided Diagnostic*) [Shahgeldi, 2009; Svec, 2001; Sadik, 2009] проводится за рубежом, но преимущественно охватывает анализ маммографических снимков [Sheshadri, Kandaswamy, 2006; Terry, 2003; Lee, 2006]. Работы по созданию и клиническому использованию CAD-систем в сцинтиграфии, в частности, остеосцинтиграфии, немногочисленны [Shahgeldi, 2009; Svec, 2001; Sadik, 2009].

## Материалы и методы

Важным этапом анализа медицинских изображений является определение признакового пространства или подбор числовых характеристик области интереса. Следует отметить, что способов математического описания признаков изображений разработано довольно много, однако одним из наиболее важных остается исследование гистограммных параметров. Гистограмма отражает частоту встречаемости пикселей в зависимости от уровня их яркости [Pratt, 2007]. Гистограммные параметры достаточно широко применяются для анализа изображений, в том числе и медицинских. Так, например, анализ гистограммных параметров был с успехом применен для классификации маммографических снимков [Sheshadri, Kandaswamy, 2009], ультразвукографических изображений щитовидной железы [Svec, 2001].

Планарная сцинтиграфия всего тела с фосфатными комплексами, мечеными  $^{99m}\text{Tc}$ , широко используется в диагностике метастатического поражения скелета. Вместе с тем различные патологические процессы в скелете, не только метастазы, проявляются полиморфными очагами гиперфиксации радиофармпрепарата. Остеосцинтиграфия является методом выявления скелетных метастазов опухолей, склонных к поражению скелета, при ранней диагностике новообразований. Однако интерпретация сканограмм у онкологических больных до сих пор представляет значительные сложности [Kosykh, Gostuyshkin, Savin, Voroztsov, 2010; Косых, Свиридов, Бурков, Потапова и др., 2014]. Анализ гистограммных особенностей патологических очагов может позволить определить специфические числовые характеристики изображений костных метастазов на остеосцинтиграммах. Цель исследования — изучение различий по гистограммным параметрам метастатических (патологических) и непатологических (физиологических) очагов на остеосцинтиграммах у больных диссеминированным раком молочной железы.

Исследование было проведено на основе планарных остеосцинтиграмм скелета 168 больных раком молочной железы, находящихся в фазе прогрессирования заболевания с метастазами в скелет. Сцинтиграммы выполнены на двухдетекторной гамма-камере Infinia-Hawkeye, производства фирмы General Electrics с применением РФП пирфотех- $^{99m}\text{Tc}$  [Гостюшкин, Косых, Савин, 2013]. Была использована разработанная нами ранее система автоматизированной компьютерной диагностики (САКД) скелетных метастазов по данным планарной сцинтиграфии, являющейся разновидностью CAD-анализа [Косых, Смагин, Гостюшкин, Савин, 2011; Коваленко, Косых, Савин, Гостюшкин, 2013]. Эта компьютерная программа основана на принципах распознавания изображений и обладает функциями экспертного анализа. Программа включает в себя ряд функциональных блоков, среди которых — ввод изображения, сегментация изображения и сохранение его в архиве, определение диагностических признаков (характеристик) сегменти-



рованных изображений архива, формирование обучающей выборки и сохранение ее в архиве, формирование классификатора, классификация новых сегментированных участков изображений. Блок-схема этапов САД-анализа приведена на рис. 1.

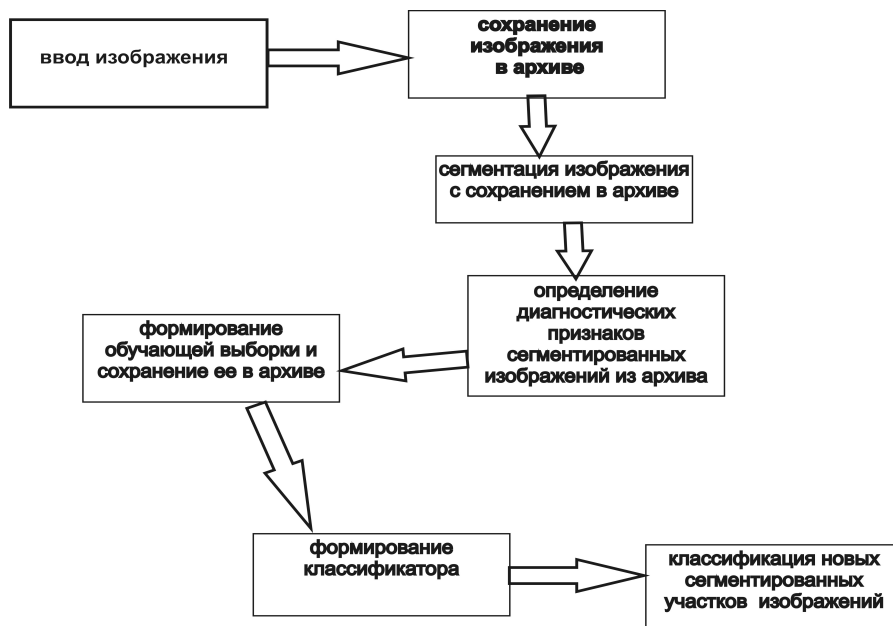


Рис. 1. Блок-схема этапов САД-анализа

Для решения поставленных задач в настоящей работе использовались первые четыре функциональных блока программы. При этом на передних и задних сцинтиграммах проводилась как ручная сегментация скелета, так и автоматическая сегментация ОГФ РФП. Последние экспертным путем распознавались как патологические (метастатические) и непатологические (физиологические). Выделенные ОГФ маркировались по отношению к тем или иным зонам скелета. На передних сцинтиграммах в сегментированном скелете выделялось 8 зон: череп, придаточные пазухи, позвоночник, грудина, грудная клетка, таз, крупные суставы, длинные трубчатые кости. На задних сцинтиграммах таких зон было 6: череп, позвоночник, грудная клетка, таз, крупные суставы, длинные трубчатые кости. Для выделенных ОГФ рассчитывались гистограммные параметры (средняя яркость, гладкость яркости, третий момент яркости, однородность яркости, энтропия яркости изображения).

Использовалась методика расчета средней взвешенной для значений гистограммных параметров для каждой остеосцинтиграммы:

$$P_{\text{сред}} = \Sigma(P_i N_i) / \Sigma(N_i),$$

где  $P_{\text{сред}}$  — среднее значение параметра,

$P_i$  — значение параметра в каждом ОГФ,

$N_i$  — число пикселей в каждом ОГФ.

Для каждой зоны скелета рассчитывались средние значения гистограммных параметров. Сравнение средних значений проводилось с расчетом критерия Стьюдента. Достоверными считались различия при коэффициенте Стьюдента 2.6 и более.

## Результаты и обсуждение

Исследование обнаружило существенные различия между патологическими и физиологическими ОГФ РФП по гистограммным параметрам как на передних, так и на задних остеосцин-



тиграммах. Эти различия представлены в нижеследующей таблице в виде фактических значений коэффициента Стьюдента. Положительные коэффициенты свидетельствуют о преобладании значений параметров в патологических ОГФ в сравнении с «физиологическими» ОГФ, тогда как отрицательные — наоборот (таблица 1). Различия показателей гистограммного анализа сегментированных патологических и физиологических очагов гиперфиксации радиофармпрепарата на передних планарных остеосцинтиграммах больных раком молочной железы с костными метастазами по критерию Стьюдента приведены в таблице.

Таблица 1. Показатели гистограммного анализа сегментированных патологических и физиологических очагов гиперфиксации радиофармпрепарата на передних планарных остеосцинтиграммах у больных раком молочной железы с костными метастазами

Проекция сцинтиграмм	Зоны скелета	яркость	гладкость	третий момент	однород- ность	энтропия
передняя	позвоночник	12.8	3.2	2.7	0.3	3.1
	суставы	24.8	6.6	2.8	-2.1	0.8
	таз	24.9	10.0	6.5	6.5	11.9
	грудина	20.4	8.1	6.5	15.2	15.8
	длинные трубчатые кости	3.6	4.2	4.4	12.9	12.4
	придаточные пазухи	6.5	0.8	0.6	11.1	-10.2
	череп	13.3	5.8	1.9	2.8	3.7
	грудная клетка	15.4	7.7	3.8	-3.6	-4.8
задняя	позвоночник	26.9	7.3	4.8	3.2	4.3
	суставы	10.6	3.8	1.1	-4.3	-1.8
	таз	24.6	-4.7	-2.3	11.4	9.6
	длинные трубчатые кости	2.1	-3.2	0.3	-1.8	-2.2
	череп	13.2	3.7	-0.01	1.3	2.6
	грудная клетка	11.3	-1.9	-1.2	0.01	-4.1

Из таблицы видно, что на задней проекции сцинтиграмм для патологических ОГФ, локализующихся в позвоночнике, характерно преобладание значений всех анализируемых гистограммных показателей над аналогичными показателями физиологических ОГФ. Аналогичная картина отмечается и для ОГФ, выявляемых на передней проекции сцинтиграмм. Исключение составляет лишь показатель однородности яркости, различия по которому между патологическими и непатологическими ОГФ недостоверны. У патологических ОГФ, локализующихся в крупных суставах и выявляемых на задней проекции сцинтиграмм, отмечается достоверное преобладание значений показателей средней яркости, однородности, гладкости патологических очагов над аналогичными показателями физиологических очагов. На передней проекции сцинтиграмм значения показателей средней яркости и третьего момента яркости патологических очагов достоверно преобладают над аналогичными показателями физиологических ОГФ.

Патологические ОГФ, выявляемые на передней проекции сцинтиграмм в области таза, имеют достоверно большие значения всех гистограммных показателей по сравнению с физиологическими. На задней проекции достоверно преобладание значений средней яркости, однородности и энтропии в патологических ОГФ над аналогичными значениями в физиологических. С другой стороны, показатель гладкости яркости в физиологических ОГФ достоверно выше, чем в патологических. Патологические ОГФ в области грудины характеризуются достоверным преобладанием всех гистограммных показателей над аналогичными показателями физиологических очагов. На передней проекции сцинтиграмм патологические ОГФ, выявляемые в длинных трубчатых костях, отличаются достоверно высокими значениями всех гистограммных показателей по сравнению с непатологическими ОГФ. На задней проекции различия между параметрами обеих групп ОГФ недостоверны. Исключение составляет лишь показатель



гладкости яркости. Его значения для физиологических ОГФ были достоверно выше аналогичных в патологических очагах. Патологические очаги в придаточных пазухах черепа характеризовались достоверно высокими показателями средней яркости и однородности, а физиологические — высоким значением показателя энтропии.

На передней проекции скинтиграмм черепа отмечалось преобладание значений всех гистограммных параметров патологических ОГФ над аналогичными параметрами непатологических очагов. Исключение составил лишь показатель третьего момента яркости, значения которого не имели достоверных различий между сравниваемыми группами очагов. Для ОГФ на задней проекции отмечались достоверно высокие значения показателей средней яркости и энтропии патологических очагов. На передней поверхности скинтиграмм отмечалось достоверное преобладание всех гистограммных параметров патологических ОГФ грудной клетки над физиологическими. На задней проекции такие различия наблюдались только для средней яркости и энтропии. На рис. 2. показаны преобладающие значения гистограммных параметров в патологических очагах гиперфиксации РФП по сравнению с физиологическими в зонах скелета на скинтиграммах больных с диссеминированными формами рака молочной железы.

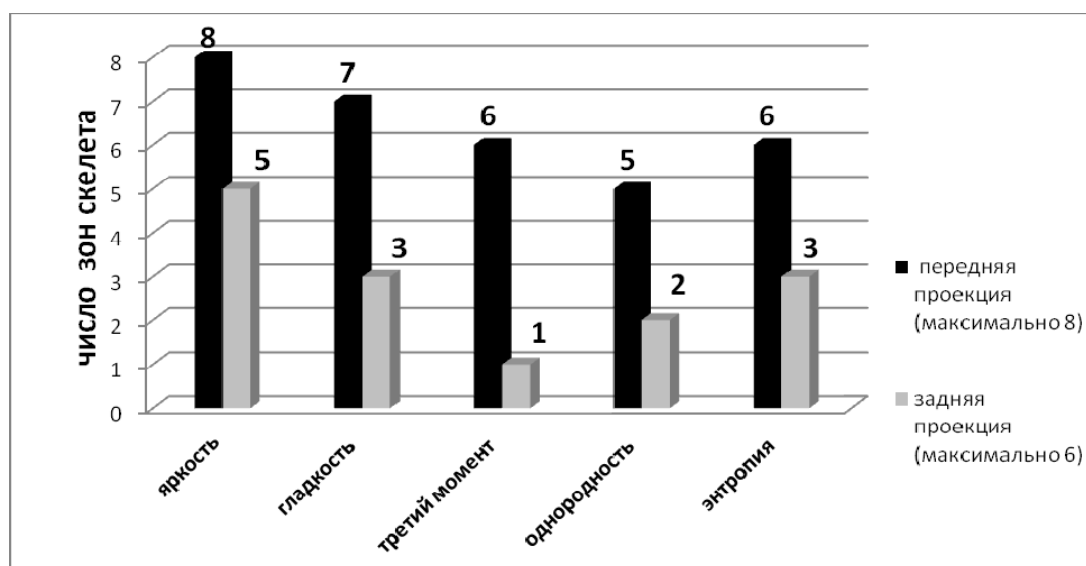


Рис. 2. Показатели значений гистограммных параметров в патологических очагах гиперфиксации радиофармпрепарата

Из рис. 2 видно, что наиболее ярко преобладание значений гистограммных показателей наблюдается в патологических ОГФ передней проекции скинтиграмм. Наиболее часто в патологических ОГФ, как на передней, так и на задней проекции, отмечено преобладание показателей яркости и гладкости яркости изображения по сравнению с аналогичными показателями физиологических ОГФ. Как видно из представленного материала, имеют место существенные различия по пяти гистограммным параметрам между патологическими и физиологическими ОГФ РФП на скинтиграммах у больных диссеминированным раком молочной железы с метастазами в скелет. Эти различия неодинаковы на передних и задних скинтиграммах, а также в разных зонах скелета. В большинстве зон скелета значения гистограммных параметров в патологических ОГФ преобладают над аналогичными значениями в физиологических ОГФ.

Таким образом, отдельные показатели гистограммного анализа могут быть использованы в уточняющей диагностике костных метастазов при интерпретации данных остеосцинтиграфии. Однако следует иметь в виду, что диагностическая значимость гистограммных показателей достаточно широко варьирует в зависимости от проекции скинтиграмм и локализации очагов гиперфиксации РФП.



## Выводы

В большинстве зон скелета значения гистограммных параметров в патологических ОГФ преобладают над аналогичными значениями в физиологических ОГФ. Различия по всем пяти гистограммным параметрам между патологическими и физиологическими очагами гиперфиксации радиофармпрепарата на передней проекции сцинтиграмм наблюдается в зонах позвоночника, грудины и таза, а на задней проекции — только в зоне позвоночника. Преобладание значений гистограммных параметров в физиологических очагах гиперфиксации, по сравнению с патологическими, чаще наблюдалось на задней проекции в зонах грудной клетки и длинных трубчатых костей. Наиболее часто в патологических очагах гиперфиксации, как на передней, так и задней проекции, фиксируется преобладание показателей яркости и гладкости яркости изображения по сравнению с аналогичными показателями физиологических очагов гиперфиксации радиофармпрепарата. Выявлена прямая зависимость между уровнями накопления РФП в зонах скелета без метастатического поражения и костных метастазов, возникающих в этих же зонах.

Таким образом, значения гистограммных параметров, наряду с яркостью, контрастностью, формой и однородностью структуры очагов, являются значимыми диагностическими признаками патологических ОГФ РФП на остеосцинтиграммах скелета и могут способствовать корректной постановке диагноза.

## Список литературы (References)

- Гостюшкин В. В., Косых Н. Э., Савин С. З. Суперкомпьютеры в задачах ядерной медицины. — Хабаровск: Вычислительный центр ДВО РАН, 2013. — 163 с.  
*Gostuyshkin V. V., Kosykh N. E., Savin S. Z. Supercomputery v zadachah yadernoy mediciny. — Khabarovsk: Vychislitelny tsentr DVO RAN, 2013. — 163 p. (in Russian).*
- Гриценко Н. Н., Ульянычев Н. В. Программный комплекс интеллектуальной обработки медико-биологических данных // Информатика и системы управления. — 2010. — Т. 24, № 2. — С. 76–80.  
*Gritsenko N. N., Ul'yanichev N. V. Programmny kompleks intellektual'noy obrabotki mediko-biologicheskikh dannyh // Informatika i sistemy upravleniya. — 2010. — Vol. 24, No. 2. — P. 76–80 (in Russian).*
- Коваленко В. Л., Косых Н. Э., Савин С. З., Гостюшкин В. В. Методы повышения эффективности компьютерных автоматизированных технологий в задачах радионуклидной диагностики // Врач и информационные технологии. — 2013, № 6. — С. 42–48.  
*Kovalenko V. L., Kosykh N. E., Savin S. Z., Gostuyshkin V. V. Metody povysheniya effektivnosti komp'yuternykh avtomatizirovannykh tehnologiy v zadachah radionuklidnoy diagnostiki // Vrach i informatsionnye tehnologii. — 2013. — No. 6. — P. 42–40 (in Russian).*
- Косых Н. Э., Свиридов Н. М., Бурков С. М., Потапова Т. П., Коваленко В. Л., Савин С. З., Гостюшкин В. В. Модификация системы автоматического распознавания медицинских изображений на основе результатов гистограммного анализа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. — 2014. — № 2. — С. 17–22.  
*Kosykh N. E., Sviridov N. M., Burkov S. M., Potapova T. P., Kovalenko V. L., Savin S. Z., Gostuyshkin V. V. Modiifikatsiya sistemy avtomaticheskogo raspoznavaniya medicinskih izobrazheniy na osnove rezul'tatov gistogrammnogo analiza // Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2014. — No. 2. — P. 17–22 (in Russian).*
- Косых Н. Э., Смагин С. И., Гостюшкин В. В., Савин С. З., Литвинов К. А. Система автоматизированного компьютерного анализа медицинских изображений // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2011. — № 3. — С. 51–56.  
*Kosykh N. E., Smagin S. I., Gostuyshkin V. V., Savin S. Z., Litvinov K. A. Sistema avtomatizirovannogo komp'yuternogo analiza medicinskih izobrazheniy // Informatsionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy. — 2011. — No. 3. — P. 51–56 (in Russian).*
- Паша С. П., Терновой С. К. Радионуклидная диагностика. — М.: ГЭОТАР-медиа, 2008. — 204 с.  
*Pasha S. P., Ternovoj S. K. Radionuklidnaya diagnostika. — M.: GeOTAR-media, 2008. — 204 p. (in Russian).*



- Pratt W. K.* Digital Image Processing, 4th Edition. — John Wiley & Sons Inc., 2007. — 807 p.
- Kosykh N. E., Gostuyshkin V. V., Savin S. Z., Voroztov I. V.* Designing the systems of computer diagnostics of medical images // Proc. of The First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010). Vladivostok, Russia. 6–9 September, 2010. — 4 p. [Kosykh.ru.html](http://Kosykh.ru.html).
- Lee N. J.* Computer-Aided Diagnostic System For Digital Mammograms. A Thesis of Master of Science in Systems Science, Jackson State University, December, 2006. — 88 p.
- Sadik M.* Computer-Assisted Diagnosis for the Interpretation of Bone Scintigraphy. A new approach to improve diagnostic accuracy. University of Gothenburg, 2009. — 44 p.
- Shahgeldi K.* Simulation of attenuation effects in bone scintigraphy // Master of Science Thesis., Department of Radiation Physics, University of Gothenburg. — 2009. — 28 p.
- Sheshadri H. S., Kandaswamy A.* Breast Tissue Classification Using Statistical Feature Extraction of Mammograms // J. Medical Imaging and Information Sciences (Japan). — 2006. — Vol. 23, No. 3. — P. 105–107.
- Svec M.* Analysis of Sonographic Images of Thyroid Gland Based on Texture Classification. Masters's Thesis, Czech Technical University, 2001. — 30 p.
- Terry J.* Sample Computer Assisted Screening Of Digital Mammogram Images. A Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in The Department of Computer Science, University of Southern Mississippi, August 2003. — 128 p.
- The Medical Image Analysis and Machine Intelligence (MIAMI) Research Group. — URL: <http://www.ece.uwaterloo.ca/~miami> (дата обращения: 21.05.2016).