



УДК 004.932.2+616-006.34

© Н. Э. Косых, Н. М. Свиридов, С. М. Бурков, Т. П. Потапова,  
В. Л. Коваленко, С. З. Савин, В. В. Гостюшкин, 2014

## МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИСТОГРАМНОГО АНАЛИЗА

*Косых Н. Э.* – д-р мед. наук, гл. науч. сотр., профессор, тел.: (4212) 22-73-41, e-mail: kosyh.n@bk.ru (ВЦ ДВО РАН); *Свиридов Н. М.* – асп. кафедры «Вычислительная техника», e-mail: pm51nik@yandex.ru; *Бурков С. М.* – д-р техн. наук, проректор, тел.: (4212) 77-08-09, e-mail: c\_burkov@mail.ru (ТОГУ); *Потапова Т. П.* – асп., тел.: (4212) 76-09-77, e-mail: c\_burkov@mail.ru (ДВГМУ); *Коваленко В. Л.* – д-р мед. наук, профессор, тел.: (4212) 76-09-77, e-mail: kov-onc@mail.ru (ИПКСЗ); *Савин С. З.* – канд. техн. наук, зав. лаб., тел.: (4212) 70-40-72, e-mail: savin.sergei@mail.ru; *Гостюшкин В. В.* – науч. сотр., тел.: (4212) 74-24-82, e-mail: gostusvv@mail.ru (ВЦ ДВО РАН)

Исследование посвящено изучению параметров гистограмм очагов гиперфиксации радиофармпрепарата в разных анатомических зонах остеосцинтиграмм. На основе результатов исследования предлагается усовершенствование классификатора, разработанной авторами ранее САД-системы.

*Ключевые слова:* САД-система, параметры гистограммы, сцинтиграфия скелета.

### Введение

Автоматическое распознавание патологических процессов на основе компьютерного анализа медицинских изображений является быстро развивающимся направлением лучевой диагностики. В мировой литературе описаны принципы компьютерной автоматизированной диагностики (computer's aid diagnosis), получившие название САД-систем [1-3]. Ранее нами была разработана САД-система для диагностики костных метастазов по данным планарных остеосцинтиграмм. На основе банка изображений создана обучающая выборка из очагов гиперфиксации (ОГФ) радиофармпрепарата (РФП). По данным выборки методом опорных векторов строится классификатор, который далее применяется для автоматического распознавания новых изображений с целью определения патологических и не патологических ОГФ РФП [4, 5]. При этом нами были отмечены существенные различия отдельных частей скелета по уровням яркости, что могло оказать негативное влияние на точность автоматического распознавания патологических очагов на сцинтиграммах с исполь-



зованием САД-системы. Причиной этого может являться то, что классификатор, использованный в программе распознавания, был сформирован на основе выборки ОГФ РФП без учета их локализации в скелете. Поэтому важным представляется изучение параметров гистограмм ОГФ РФП в разных анатомических зонах скелета у пациентов без костных метастазов. Выявленные закономерности гистограмм яркости изображения могут быть учтены при построении классифицирующих функций для задач классификации ОГФ методом опорных векторов.

### Методика исследования

В первой части исследования использованы остеосцинтиграммы 50 женщин 35-70 лет, без признаков метастатического поражения скелета, выполненные в планарном режиме на двухдетекторной гамма-камере Infinia - Hawkeye, производства фирмы General Electrics с применением РФП пирфотех-99mTc. Каждой сцинтиграмме соответствовало переднее и заднее изображение.

В программе, созданной в среде MATLAB, в ручном режиме проводилась сегментация скелета, после чего в выделенном объеме пороговым методом проводилась сегментация зон интереса - ОГФ РФП. Каждому выделенному очагу присваивался код, соответствующий той или иной зоне скелета. Далее, для выделенных ОГФ РФП рассчитаны гистограммные показатели [6] (табл. 1).

Для каждой анатомической зоны рассчитывались средние значения данных показателей, которые затем сравнивались между собой по критерию Стьюдента (t). Разность между показателями считалась достоверной при  $t \geq 2,6$ .

Во второй части исследования использованы планарные остеосцинтиграммы 300 женщин с прогрессирующим раком молочной железы имеющих метастатическое поражение скелета или без такового. На данных сцинтиграммах проведена сегментация скелета и ОГФ РФП по принципам, изложенным выше. Для выделенных ОГФ РФП проводился текстурный анализ [7], локальной бинарной текстуры [8], а также гистограммный и морфометрический анализ [9, 10]. Из обработанных сцинтиграмм формировалась обучающая выборка, состоящая из проанализированных экспертом ОГФ РФП объектов, разделенных на патологические и здоровые.

Таблица 1

Гистограммные параметры

Средняя яркость	$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i)$
Стандартное отклонение	$\sigma = \sqrt{\mu_2(z)} = \sqrt{\sigma^2}$
Гладкость	$R = 1 - 1/(1 + \sigma^2)$



Продолжение таблицы 1

Третий момент	$\mu_3 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i)$
Однородность	$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i)$
Энтропия	$e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i)$

Каждому объекту выборки соответствовал вычисленный набор параметров. Далее методом опорных векторов создавался классификатор, с помощью которого осуществлялось автоматическое разделение ОГФ на «патологические» и «здоровые». Качество классификатора проверялось на тестовой выборке по 200 ОГФ для передних и задних проекций. Качество классификации оценивалось с помощью ROC-анализа, отражающего соотношение уровня верных и ложных обнаружений [11]. При этом рассчитывался численный показатель площади под ROC-кривой - AUC (Area Under Curve).

### Результаты и обсуждение

Для каждой анатомической зоны передних остеосцинтиграмм рассчитывались средние значения 6 гистограммных параметров. По каждому параметру зоны сравнивались друг с другом. В качестве примера представлены результаты сравнения методом Стьюдента анатомических зон скелета по значению показателя средней яркости сегментированных ОГФ РФП для передних остеосцинтиграмм (табл. 2).

Аналогичные сравнения проведены для остальных параметров. Всего по передним скинтиграммам сформировано 294 пары сравниваемых показателей. В 254 (86,4%) из них различия между показателями были достоверными по критерию Стьюдента. Сходство же между парами сравниваемых показателей наблюдались значительно реже – в 40 (13,6 %) случаев.

Таблица 2

Сравнение методом Стьюдента анатомических зон скелета

Лок-я очагов гиперфиксации РФП	Локализация очагов гиперфиксации РФП						
	Суст.	Таз	Грудина	Дл.тр. кости	Придат. пазухи	Череп	Груд.кл.
Позвоночник	16,6	5,9	-11,8	16,4	-13,4	4,0	27,0
Суставы		-11	-28,6	9,8	-28,7	-9,1	13,2
Таз			-18,0	14,0	-19,1	-0,7	22,5
Грудина				21,7	-2,5	13,7	37,4
Длинные труб.кости					-22,5	-13,7	-3,8
Придат.пазухи						15,1	37,2
Череп							18,8

Наиболее редко сходство между различными анатомическими зонами наблюдается для средней яркости изображения - только в 2 из 28 пар. Такая картина наблюдалась при сравнении зон костей таза и придаточных пазух носа, а также грудины и длинных трубчатых костей. Достаточно редко сходство между анатомическими зонами наблюдается и для показателей средней контрастности яркости и относительной гладкости яркости. Для обоих показателей сходство наблюдалось в 4 из 28 сравниваемых пар. Такая картина отмечена для позвоночника и суставов, суставов и таза, таза и длинных трубчатых костей, грудины и длинных трубчатых костей.

Пять анатомических зон, выделенных на задних сцинтиграммах, также сравнивались между собой по 6 гистограммным параметрам. Было сформировано 150 пар сравниваемых показателей. В 130 (86,7 %) из них различия между ними были достоверными по критерию Стьюдента. В остальных 20 (13,3 %) парах существенные различия отсутствовали. Наиболее редко сходство между анатомическими зонами задних остеосцинтиграмм наблюдалось для показателей средней яркости, средней контрастности, относительной гладкости яркости выделенных ОГФ РФП (1 из 15 пар), а также для показателя энтропии яркости (3 из 15 пар). Более значительное сходство между анатомическими зонами наблюдалось для показателя равномерности яркости (5 из 15 пар) и особенно для показателя асимметричности гистограммы (9 из 15).

Таким образом, исследование, выполненное при поддержке РФФИ (грант №13-07-00667), показало, что анатомические зоны скелета существенно различаются по средним значениям гистограммных параметров изображений ОГФ РФП. Этот факт явился основанием, для модернизации созданной нами ранее САД-системы. Для каждой анатомической зоны скелета были созданы отдельные обучающие выборки, а на их основе, классификаторы с использованием метода опорных векторов.

В работе была поставлена задача сравнения вероятности проведения верной классификации с применением классификатора, созданного на основе обучающей выборки ОГФ РФП без учета их локализации в скелете и применением группы классификаторов, созданных с учетом локализации ОГФ РФП. Сравнимые классификаторы были обозначены нами как «Bone zone» и «Anatom zone» соответственно. Поставленная задача была решена с помощью ROC-анализа, с расчетом численного показателя AUC. Качество сравниваемых классификаторов проверялось на тестовой выборке по 200 ОГФ для передних и задних проекций (рис. 1).

Согласно проведенного ROC-анализа, качество классификаторов созданных, как без учета локализации, так и с учетом локализации ОГФ в скелете, для задних проекций сцинтиграмм было выше, чем для передних. В целом, классификатор «Anatom zone» демонстрировал преимущества по сравнению классификатором «Bone zone». Так при использовании классификатора «Anatom zone» для анализа ОГФ передних сцинтиграмм, было получено, что



AUC=0,92, а при использовании данного классификатора для оценки ОГФ задних сцинтиграмм AUC=0,96. Для классификатора «Bone zone» данные показатели составили, соответственно AUC=0,86 и AUC=0,90).

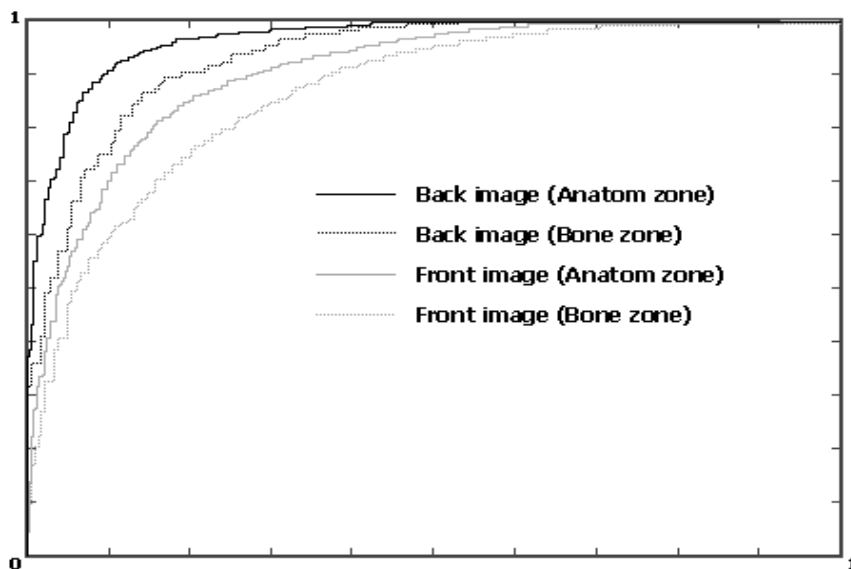


Рис. 1. Сравнение классификаторов с помощью ROC-анализа

В результате проведённого исследования, были сделаны следующие выводы:

1. Отдельные зоны скелета существенно отличаются друг от друга по средним значениям гистограммных параметров изображений ОГФ РФП на планарных сцинтиграммах.

2. Наиболее отчетливо эти различия проявляются для показателей средней яркости, средней контрастности и относительной гладкости яркости изображений данных очагов на сцинтиграммах.

3. Использование в автоматизированной компьютерной системе классифицирующих функций, созданных на основе обучающих выборок изображений очагов гиперфиксации радиофармпрепарата отдельных анатомических зон, существенно повышает эффективность выявления патологии на планарных остеосцинтиграммах.

### Библиографические ссылки

1. Дабагов А. Р. Цифровая радиология и диагностика. Достижения и перспективы. // Журнал радиоэлектроники. – 2009. - №5. - С.140-152.

2. Pelckmans K., Suykens J.A.K., Van Gestel T., Brabanter J. De, Lukas L., Hamers B., De Moor B., Vandewalle J. LS-SVMLab Toolbox User's Guide version 1.5. ESAT-SCD-SISTA Technical Report 02-145. February 2003, 107 p.



3. *Sadik M.* Bone scintigraphy. A new approach to improve diagnostic accuracy. University of Gothenburg, 2009, 44 p.
4. *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.51-60.
5. *Барабаш П.И., Гостюшкин В.В., Косых Н.Э., Мазур А.И., Савин С.З.* Система автоматизированного компьютерного анализа медицинских изображений // Вестник ТОГУ. – 2013. - № 3(30). - С.17-22.
6. *Федотов Н.Г., Абрамова Т.А.* Текстурные характеристики как средство представления различных классов изображений биологической природы // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике. Сборник материалов Международной научно-технической конференции. Пенза: ПЗД, 2009. - С.8-11.
7. *Haralick R. M., Shanmugam K., and Dinstein I.* Textural Features of Image Classification // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1973. - Vol. SMC-3. - Nov. №. 6.- PP.45-56
8. *Ojala T., Pietikainen M., Maenpaa T.* Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence.- 2002.- Vol. 24(7).- PP. 971-987
9. *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB Пер. с англ. Москва: Техносфера. 2006. 615с.
10. *Farid H.* Detection Steganographic Message in Digital Images // Technical Report TR2001-412, Dartmouth College, Hanover, NH, 2001.- PP.200-212.
11. *Metz C.E.* Fundamentals of ROC Analysis // Handbook of Medical Imaging. Vol.1. Physics and Psychophysics. Beutel J, Kundel HL, and Van Metter RL, Eds. SPIE Press (Bellingham WA 2000), Chapter 15: - pp.751-769.

**Title: Modification of Automated Recognition System of Medical Images on the Basis of Histogram Analysis Results**

**Authors' affiliation:**

Kosykh N. E. - Computing Center, FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation  
Sviridov N. M. - Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation  
Burkov S. M. - Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation  
Potapova T. P. - Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation  
Kovalenko V. L.- Institute for Advanced Training of health professionals, Khabarovsk, Russian Federation  
Savin S. Z. - Computing Center, FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation  
Gostyushkin V. V. - Computing Center, FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation

**Abstract:** This research studies parameters of histograms of hyperfixation zone of radiopharmaceutical preparation in different anatomic zones of planar scintigraphy. On the basis of the investigation results the improvement of the classifier for previously developed by authors CAD-system is proposed.

**Keywords:** mathematical modeling, automated computer analysis, recognition images, histograms parameters, planar scintigraphy.