

Н.Э. Косых¹, С.З. Савин¹, Т.П. Потапова²

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗЛИЧИЙ МЕТАСТАТИЧЕСКИХ И НЕМЕТАСТАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ НА ПЛАНАРНЫХ ОСТЕОСЦИНТИГРАММАХ

N.E. Kosykh¹, S.Z. Savin¹, T.P. Potapova²

The Use of Textural Analysis for Assessment of Differences between Metastatic and Non-Metastatic Zones on Planar Bone Scintigrams

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Цель: Изучение текстурных характеристик изображений метастатических очагов на планарных скинтиграммах скелета.

Методы и материалы: Использована компьютерная программа автоматического анализа скелетных метастазов по данным планарной скинтиграфии с помощью которой на остеосцинтиграммах 168 больных с диссеминированным раком молочной железы были выделены очаги гиперфиксации (ОГФ) радиофармпрепарата (РФП). Экспертным путем ОГФ разделялись на патологические (метастатические) и физиологические (не-метастатические). В ОГФ определены текстурные характеристики по Харалику: автокорреляция, контрастность, корреляция, четвертый момент, неоднородность.

Результаты: В большинстве зон скелета значения текстурных параметров по Харалику в патологических ОГФ преобладают над аналогичными значениями в физиологических ОГФ. Различия по всем 5 текстурным параметрам между патологическими и физиологическими ОГФ РФП на скинтиграммах в передне-задней проекции наблюдались в зонах грудины и таза, а на скинтиграммах в задне-передней проекции — только в зоне таза. Наиболее часто в патологических ОГФ на скинтиграммах в обеих проекциях фиксировалось преобладание показателей контрастности по сравнению с аналогичными показателями физиологических ОГФ.

Выводы: Полученные результаты позволяют использовать Хараликовские текстуры для дифференциальной диагностики метастатических и не-метастатических очагов на планарных остеосцинтиграммах в рамках автоматизированного компьютерного анализа скинтиграмм.

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

Purpose: Study of metastatic images' textural characteristics on planar scintigrams of skeleton.

Material and methods: The study involves computer analysis program for automatic assessment of skeletal metastases which is based on image recognition principles and is capable of expert analysis. The program's functionality includes skeleton image segmentation, calculation of textural, histogrammic and morphometric parameters, creation of learning sample, dividing segmented foci to pathological and non-pathological by means of classifying function based on support vector machine. The study is based on planar scintigraphy data assessment of 168 patients with disseminated breast cancer. Computer automated analysis was used to distinguish pathological (metastatic) from physiological (non-metastatic) radiopharmaceutical hyperfixation foci in which Haralick's textural features were determined: autocorrelation, contrast, forth feature and heterogeneity. On anterior view scintigrams, in a segmented skeleton, 8 zones were selected: skull, accessory sinuses of the nose, spine, sternum, thorax, pelvis, large joints and long cortical bones. On posterior view scintigrams 6 zones were selected: skull, spine, thorax, large joints and long cortical bones. Weighted means were calculated for each zone. Derived values for pathological and non-pathological hyperfixation foci were paralleled with calculation of Students' criteria.

Results: In most skeletal zones textural Haralick's features prevail in pathological hyperfixation foci over similar values in physiological hyperfixation foci. Differences by all 5 features between pathological and physiological radiopharmaceutical hyperfixation foci on frontal scintigrams were found in sternal and pelvic zones. On posterior scintigrams they were found only in pelvic zones. Most commonly in pathological hyperfixation foci (both posterior and anterior scintigrams) prevalence of contrast was found in comparison with similar features of physiological hyperfixation foci.

Conclusion: Results of our research show possibility of Haralick's textures application for differential diagnostics of metastatic and non-metastatic foci on planar bone scintigrams by means of computer automated analysis.

Key words: automated computer analysis, image recognition, planar scintigrams, hyperfixation zone, radiopharmaceutical, histograms, image brightness

Введение

Непрерывным условием обеспечения радиационной безопасности пациентов в радиационной диагностике является снижение лучевой нагрузки не только за счет щадящих средств ядерной медицины, но и использования все более корректных математических методов анализа изображений для повышения достоверности диагностической информации. Разработка

новых методов лучевой диагностики, их интеграция с компьютерными системами визуализации, а также с системами медицинской компьютерной диагностики (так называемых КАД-систем), стало одним из важнейших научных направлений в современной медицине [1, 2]. Одним из основополагающих принципов параметрического анализа медицинских изображений является подбор числовых характеристик обла-

¹ Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск.
E-mail: savin.sergei@mail.ru

² Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск

¹ Computer Center of Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia. E-mail: savin.sergei@mail.ru

² Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia

сти интереса. Известно достаточно много способов математического описания признаков изображений [3]. Однако можно выделить несколько типов числовых параметров, ставших классикой анализа изображений: гистограммные, текстурные и морфометрические параметры [2, 4, 5].

Важной характеристикой многих реальных изображений является их текстура [2, 6, 7]. Текстура представляет собой регулярное повторение в пределах ограниченной области некоторого фрагмента с размерами, существенно меньшими размерами этой области. Количественное описание текстуры основано на вычислении матрицы вероятностного распределения яркости – Grey Level Cooccurrence Matrix (GLCM), предложенной Хараликом и соавт. В [8] было показано, что если расстояние между двумя элементами изображения определяется вектором с модулем r и углом q , то для каждого r и q можно построить массив $L \times L$ чисел, определяющий статистическую зависимость пар элементов изображения. Смежность определяется как матрица относительных частот P_{ij} наличия на изображении соседних точек с яркостями i, j , находящихся на расстоянии r в направлении q друг от друга (4 матрицы по углу). По GLCM на основе гистограмм второго порядка производится вычисление текстурных характеристик. На основе GLCM можно вычислить такие параметры, как например контрастность, гомогенность, энтропия, моменты различных порядков, максимум вероятности и др.

За последнее десятилетие появился ряд работ, связанных с текстурным анализом медицинских изображений, в том числе рентгенограмм скелета [9, 10], маммографических снимков [11, 12], КТ-изображений печени [13]. Одним из важных методов диагностики метастатического поражения скелета является планарная сцинтиграфия всего тела с фосфатными комплексами, мечеными ^{99m}Tc , широко используемая в диагностике метастатического поражения скелета [14, 15]. Несмотря на высокую чувствительность данного метода, остеосцинтиграфия не отличается высокой специфичностью. Различные патологические процессы в скелете, так же как и метастазы проявляются полиморфными очагами гиперфиксации (ОГФ) радиофармпрепарата (РФП), что создает определенные сложности в интерпретации сцинтиграфической картины [14]. Анализ текстурных особенностей патологических ОГФ РФП позволяет определить специфические числовые характеристики изображений костных метастазов на остеосцинтиграммах. Однако данный аспект слабо освещен в профильной литературе. Поэтому целью нашего исследования явилось изучение текстурных характеристик изображений метастатических очагов на сцинтиграммах скелета.

Материал и методы

Исследование было проведено с использованием планарных остеосцинтиграмм скелета 168 больных раком молочной железы (РМЖ), находящихся в фазе прогрессирования заболевания с метастазами в скелет. Сцинтиграммы были получены на двухдетекторной гамма-камере Infinia-Hawkeye, производства фирмы General Electrics с применением РФП ^{99m}Tc -пирфотех. Была применена оригинальная компьютерная программа автоматического анализа скелетных метастазов по данным планарной сцинтиграфии [16]. С ее помощью выделялись ОГФ РФП на остеосцинтиграммах и определялись их текстурные характеристики. В качестве таковых были использованы автокорреляция, контрастность, корреляция, четвертый момент, неоднородность.

Была использована методика расчета средней взвешенной для значений гистограммных и текстурных параметров (по Харалику) остеосцинтиграмм. В ее основе лежало определение числовых значений параметра, приходящегося на каждый пиксел выделенного на сцинтиграмме ОГФ РФП. Далее определялась сумма значений параметра в пределах отдельного ОГФ, а затем в пределах всех ОГФ, выделенных на сцинтиграмме. В дальнейшем рассчитывалось отношение данного показателя к общей площади выделенных ОГФ. Средневзвешенная оценка каждого из указанных параметров определялась по формуле:

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

где: $P_{\text{сред.взв.}}$ – средняя взвешенная оценка значения параметра, P_i – значение параметра в каждом ОГФ, N_i – число пикселов в каждом ОГФ.

На сцинтиграммах в передне-задней проекции (СПЗП) сегментированном скелете выделялось 8 зон: череп, придаточные пазухи, позвоночник, грудина, грудная клетка, таз, крупные суставы, длинные трубчатые кости. На сцинтиграммах в задне-передней проекции (СЗПП) таких зон было 6: череп, позвоночник, грудная клетка, таз, крупные суставы, длинные трубчатые кости. Для каждой зоны скелета рассчитывались средние значения текстурных параметров исходя из значений средневзвешенных показателей, полученных по каждой сцинтиграмме. Сравнение средних значений проводилось с расчетом критерия Стьюдента. Достоверными считались различия при коэффициенте Стьюдента 2,6 и более.

Результаты и обсуждение

Изучение текстурных характеристик изображений метастатических очагов на сцинтиграммах скелета проводилось путем сравнения патологических и физиологических ОГФ РФП. Под патологическими

понимались те ОГФ, которые расценивались экспертом как скелетные метастазы, либо распознавались как метастазы другими методами лучевой диагностики (КТ, МРТ и т.п.). Физиологическими считались симметричные ОГФ, расположенные в зонах повышенного накопления РФП на нормальных сцинтиграммах [10,16], либо в зонах травм, переломов, имеющих анамнестическое и рентгенологическое подтверждение. Ниже приводятся не фактические значения текстурных показателей, а только значения критерия Стьюдента при сравнении патологических и физиологических ОГФ (табл.).

Как видно из табл., для патологических ОГФ позвоночника, определяемых на СПЗП, характерно достоверное преобладание показателя контрастности над аналогичным показателем физиологических ОГФ. На задних СЗПП статистически достоверное преобладание показателей в патологических ОГФ наблюдается для всех рассматриваемых хараликовских текстурных параметров. Различия в значениях текстурных параметров отмечаются также и для ОГФ, расположенных в зонах крупных суставов. Так, на передних СПЗП отмечается достоверное преобладание значений показателей контрастности и корреляции патологических ОГФ над физиологическими. На СЗПП различия затрагивают такие показатели, как автокорреляция, контрастность и четвертый момент. В области таза как на передних, так и на задних сканограммах отмечается преобладание значений всех текстурных показателей патологических очагов над аналогичными показателями физиологических ОГФ. Аналогичная картина наблюдается и для ОГФ, расположенных в области грудины.

Для длинных трубчатых костей характерно отсутствие достоверных различий в значениях практически всех текстурных параметров патологических



Рис. Преобладание значений гистограммных параметров в патологических очагах гиперфиксации РФП по сравнению с физиологическими в зонах скелета на сцинтиграммах больных с диссеминированными формами рака молочной железы

и физиологических ОГФ, выявляемых на СПЗП и СЗПП. Исключение составил лишь показатель контрастности, значение которого были достоверно выше в патологических ОГФ. Текстурные параметры патологических и физиологических ОГФ, расположенных в области придаточных пазух черепа, достоверно не различались между собой. На СПЗП черепа отмечалось преобладание значений показателя контрастности патологических ОГФ над аналогичным показателем физиологических очагов. Для ОГФ СЗПП черепа отмечались достоверно высокие значения показателей автокорреляции контрастности и четвертого момента патологических очагов. Для грудной клетки в передней проекции отмечалось преобладание практически всех текстурных показателей патологических очагов над физиологическими, за

Таблица

Различия по критерию Стьюдента показателей текстурного анализа по Харалику сегментированных патологических и физиологических ОГФ РФП на планарных остеосцинтиграммах в передне-задней проекции

Проекция сцинтиграмм	Зоны скелета	Автокорреляция	Контрастность	Корреляция	Четвертый момент яркости	Неоднородность яркости
Передняя	Позвоночник	2,3	16,5	2,6	2,4	2,2
	Суставы	1,1	20,9	3,3	1,1	2,4
	Таз	5,0	38,2	7,9	5,1	7,0
	Грудина	6,5	18,6	5,0	6,6	4,6
	Длинные трубчатые кости	0,4	13,6	1,6	0,5	2,1
	Придаточные пазухи	-1,5	0,4	0,8	-1,5	0,3
	Череп	2,5	11,9	1,1	2,4	0,8
Задняя	Грудная клетка	2,8	24,9	3,1	2,9	2,5
	Позвоночник	4,8	20,4	6,3	4,9	5,3
	Суставы	3,5	10,3	2,2	3,6	1,8
	Таз	12,5	23,5	5,7	12,6	4,8
	Длинные трубчатые кости	-2,4	9,2	1,8	-2,3	1,3
	Череп	2,8	8,9	1,0	2,8	0,1
	Грудная клетка	1,9	27,1	3,6	2,0	1,7

исключением показателя неоднородности. На СЗПП такие различия наблюдались лишь для показателей контрастности и корреляции.

Закономерности преобладания значений текстурных параметров в патологических ОГФ РФП по сравнению с физиологическими ОГФ представлены на рис. Наиболее часто в патологических ОГФ как на СПЗП, так и на СЗПП фиксируется преобладание показателей контрастности по сравнению с аналогичными показателями физиологических ОГФ. На СПЗП преобладание данного показателя отмечалось в 7 из 8 зон скелета, а на СЗПП это наблюдалось во всех 6 зонах. Реже всего как на СПЗП, так и на СЗПП в патологических ОГФ отмечалось преобладание показателя неоднородности в сравнении с физиологическими ОГФ.

Исследование показало, что в патологических ОГФ на сцинтиграммах скелета, отражающих метастатические очаги, показатели большинства рассмотренных текстурных параметров оказались более значимыми, чем в не-метастатических очагах. Достаточно часто такие различия были статистически достоверными. Это позволяет использовать хараликовские текстуры для дифференциальной диагностики метастатических и не метастатических очагов на планарных остеосцинтиграммах в рамках метода компьютерного автоматизированного анализа.

Выводы

1. В большинстве зон скелета значения текстурных параметров по Харалику в патологических ОГФ преобладают над аналогичными значениями в физиологических ОГФ.

2. Различия по всем 5 текстурным параметрам между патологическими и физиологическими очагами гиперфиксации радиофармпрепарата на сцинтиграммах в передне-задней проекции наблюдается в зонах грудины и таза, а на сцинтиграммах в задне-передней проекции только в зоне таза.

3. Наиболее часто в патологических очагах гиперфиксации фиксируется преобладание показателей контрастности по сравнению с аналогичными показателями физиологических очагов гиперфиксации радиофармпрепарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Календер В. Компьютерная томография. – М: Техносфера. 2006. 343 с.
2. Pratt W.K. Digital Image Processing (4th edition). – John Wiley & Sons, Inc. 2007. 807 pp.
3. Гриценко Н.Н., Ульянычев Н.В. Программный комплекс интеллектуальной обработки медико-биологических данных // Информатика и системы управления. 2010. Т. 24. № 2. С. 76–80.
4. Гонсаленс Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера. 2006. 616 с.
5. Мясников В.В., Попов С.Б., Сергеев В.В., Чернов В.М. Распознавание изображений // В сб.: «Методы компьютерной обработки изображений». Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит. 2003. С. 251–300.
6. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. – СПб: СПбГУ ИТМО. 2008. 192 с.
7. Яне Б. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера. 2007. 584 с.
8. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural features of image classification // IEEE Transact. Systems, Man and Cybernetics. 1973. Vol. 6. Suppl. SMC-3. P. 610–621.
9. Гайдель А.В., Первушкин С.С. Исследование текстурных признаков для диагностики заболеваний костной ткани по рентгеновским изображениям // Компьютерная оптика. 2013. Т. 37. № 1. С. 42–48.
10. Materka A., Cichy P., Tuliszkiwicz J. Texture analysis of x-ray images for detection of changes in bone mass and structure // In: Texture Analysis in Machine Vision. Series in Machine Perception and Artificial Intelligence. Ser. 40. Ed. M.K. Pietikainen. – World Scientific. 2000. P. 185–189.
11. Karahaliou A.N., Boniatis I.S., Skiadopoulou S.G. et al. Breast cancer diagnosis: analyzing texture of tissue surrounding microcalcifications // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 2008. Vol. 12. № 3. P. 731–738.
12. Lee N.J. Computer-Aided diagnostic system for digital mammograms. A thesis of master of science in systems science. Jackson State University, December, 2006. 25 pp.
13. Gletsos M., Mougiakakou S.G., Matsopoulos G.K. et al. Computer-aided diagnostic system to characterize CT focal liver lesions: design and optimization of a neural network classifier // IEEE Transact. Inform. Technol. Biomed. 2003. Vol. 7. № 3. P. 153–162.
14. Паша С.П., Терновой С.К. Радионуклидная диагностика. – М.: ГЭОТАР-медиа. 2008. 204 с.
15. Sadik M., Suurkula M., Höglund P. et al. Improved classifications of planar whole-body bone scans using a computer-assisted diagnosis system: a multicenter, multiple-reader, multiple-case study. // J. Nucl. Med. 2009. Vol. 50. № 3. P. 368–375.
16. 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.

Поступила: 30.12.2015

Принята к публикации: 16.11.2016