

МЕТОД АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ НЕФРОСЦИНТИГРАММ НА ОСНОВЕ ЯРКОСТНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.В. Гайдель^{1,2}, А.Г. Храмов¹, А.В. Капишников³, А.В. Колсанов³, Ю.С. Пышкина³

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия,

² Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия,

³ Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

Аннотация

Предложен метод автоматической обработки скintiграмм, позволяющий объективизировать оценку состояния паренхимы почки с помощью яркостных и геометрических характеристик скintiграмм при пороговой обработке. Работа метода изучается на наборе реальных радионуклидных изображений ренотрансплантата. Представлены результаты клинических исследований, подтверждающие эффективность разработанного способа. Полученные объективные числовые значения при пороговой обработке изображений с порогом от 40 % до 80 % максимальной яркости позволяют сформировать независимую оценку наличия или отсутствия очаговых изменений паренхимы почки.

Ключевые слова: обработка изображений, распознавание образов, скintiграфия, заболевания почек, трансплантация.

Цитирование: Гайдель, А.В. Метод анализа цифровых нефросцинтиграмм на основе яркостных и геометрических характеристик изображений / А.В. Гайдель, А.Г. Храмов, А.В. Капишников, А.В. Колсанов, Ю.С. Пышкина // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 103-109. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-103-109.

Введение

Трансплантация почки является оптимальным методом лечения при терминальной стадии почечной недостаточности [1], обеспечивающим лучшее качество жизни реципиентов, по сравнению с пациентами, находящимися на поддерживающем диализе [2].

Ведение реципиента в постренотрансплантационном периоде во многом зависит от своевременного обнаружения патологии почечного трансплантата (ПТ), поэтому для выявления осложнений должны использоваться современные лучевые методы. Объективно оценить морфофункциональное состояние почечной ткани позволяет радионуклидная диагностика [2, 3, 4]. Получаемые таким образом изображения являются скintiграммами, которые позволяют определить пространственное распределение радиофармпрепаратов (РФП) в организме пациента [5].

Визуальный анализ скintiграмм позволяет обнаружить нарушения накопления РФП органом – признак очаговой функциональной патологии паренхимы почки (рис. 1). Локальные дефекты функциональной активности на нефросцинтиграммах наблюдаются при опухолях, кистах, инфекции мочевыделительной системы [6], инфарктах и рубцовых повреждениях [7], при нарушении кровоснабжения ткани (тромбоэмболии и эмболии) [8], остром канальцевом некрозе [9, 10], отторжении [11], после биопсии ПТ, при лекарственной нефротоксичности [10], пузырно-мочеточниковом рефлюксе у реципиентов [12 – 14].

Автоматизация обработки радионуклидных изображений для получения объективных диагностических параметров является актуальной проблемой в клинической практике. Разработка информационных технологий компьютерного анализа нефросцинтиграмм – важная задача в диагностике посттрансплан-

тационных осложнений и мониторинге состояния ренотрансплантата. Эта проблема может быть решена с помощью цифровой обработки медицинских изображений [15, 16], в том числе радионуклидных [5]. Ранее уже проводились исследования текстурных признаков для классификации ультразвуковых нефрологических изображений [17].

Цель работы – разработка метода количественной оценки очаговых изменений паренхимы почки путем анализа яркостных и геометрических характеристик скintiграмм при пороговой обработке.

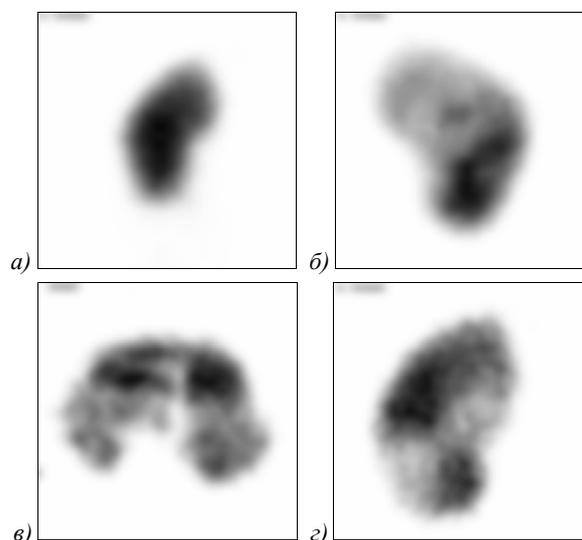


Рис. 1. Примеры негативов скintiграмм почечного трансплантата: норма (а) и варианты очаговых изменений (б, в, г)

Изучение радионуклидных изображений ренотрансплантата выполнено с помощью разработанного метода, основанного на оценке зависимости средней яркости и площади области от значения порога, использованного при предварительной пороговой обра-

ботке. Признаками являются отсчёты функции, отражающей эту зависимость. Они вычисляются по определенной области (зоне) интереса, включающей всю почку. Область интереса выбирается врачом-диагностом вручную на каждой скинтиграмме.

1. Признаки изображений, основанные на пороговой обработке

Пусть имеется полутоновое изображение $\hat{\omega}(x, y) : \hat{D}_\omega \rightarrow \mathbf{R}_+$, представляющее собой функцию, отображающую некоторую координату $(x, y) \in \hat{D}_\omega$ на значение яркости в этой точке. Изображение определено лишь на некоторой области интереса $\hat{D}_\omega \subseteq \mathbf{R}^2$, включающей биологический орган, подлежащий анализу (в данном случае – почку). Здесь \mathbf{R} – это множество вещественных чисел, а $\mathbf{R}_+ = \{x \in \mathbf{R} \mid x \geq 0\}$ – это множество неотрицательных вещественных чисел.

Результат пороговой обработки изображения $\hat{\omega}(x, y)$ с порогом t можно обозначить

$$\hat{\omega}_t(x, y) = \hat{\omega}(x, y)u(\hat{\omega}(x, y) - t),$$

где

$$u(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$$

Таким образом, изображение $\hat{\omega}_t(x, y)$ совпадает с изображением $\hat{\omega}(x, y)$ в тех точках, где его яркость не меньше t .

Также потребуется отдельное обозначение для области, в которой яркость изображения не меньше заданного порога t :

$$\hat{D}_\omega^{(t)} = \{(x, y) \in \hat{D}_\omega \mid \hat{\omega}_t(x, y) > 0\}.$$

Для описания изображения предлагается использовать две функции:

– площадь области изображения $\hat{D}_\omega^{(t)}$

$$S'(t) = \iint_{\hat{D}_\omega^{(t)}} dx dy, \tag{1}$$

– средн. яркость изображения в этой области

$$\bar{\omega}'(t) = \frac{1}{S'(t)} \iint_{\hat{D}_\omega^{(t)}} \hat{\omega}(x, y) dx dy. \tag{2}$$

Если предположить, что большая часть здоровых органов имеют похожую форму, то для них характер зависимости функций $S'(t)$ и $\bar{\omega}'(t)$ от порога t не слишком отличается. Однако при наличии патологических изменений, существенно влияющих на изображение исследуемого органа, функции $S'(t)$ и $\bar{\omega}'(t)$ также могут изменять свой вид.

Понятно, что компьютерной обработке подвергаются цифровые изображения $\omega(m, n) : D_\omega \rightarrow \mathbf{Q}$, кото-

рые получаются из непрерывных изображений в результате воздействия операторов дискретизации и квантования [18]:

$$\omega(m, n) = \lfloor \hat{\omega}(mh_x, nh_y) / h_\omega + 0,5 \rfloor,$$

где $D_\omega \subseteq \mathbf{Z}^2$ – дискретная область интереса, $\mathbf{Q} = [0; Q - 1] \cap \mathbf{Z}$ – множество уровней яркости, Q – количество различных уровней яркости на изображении, h_x и h_y – шаги дискретизации по соответствующим координатам, h_ω – шаг квантования. Здесь под \mathbf{Z} понимается множество целых чисел, а оператор $\lfloor x \rfloor$ округляет число x вниз до ближайшего целого, то есть возвращает наибольшее целое число n , не большее, чем x .

Для дискретных цифровых изображений можно также определить область $D_\omega^{(k)}$, состоящую из отсчётов, в которых яркость изображения не меньше заданного порога k :

$$D_\omega^{(k)} = \{(m, n) \in D_\omega \mid \omega(m, n) \geq k\}.$$

В этом случае функции (1) и (2) можно переписать в виде

$$S(k) = \sum_{(m, n) \in D_\omega^{(k)}} 1, \tag{3}$$

$$\bar{\omega}(k) = \frac{1}{S(k)} \sum_{(m, n) \in D_\omega^{(k)}} \omega(m, n). \tag{4}$$

Основная задача, решаемая в этой работе, состоит в выявлении наличия зависимости между отсчётами этих функций и состоянием почки.

Видно, что отсчёты функций (3) и (4) являются чисто гистограммными признаками, то есть не учитывают пространственные отношения между отсчётами изображения. Зато их можно вычислить довольно быстро, если гистограмма изображения уже построена.

Пусть имеется гистограмма изображения $h_\omega(k) : \mathbf{Q} \rightarrow [0; S(0)] \cap \mathbf{Z}$, которая для заданного уровня яркости k возвращает количество отсчётов изображения, имеющих яркость k , то есть

$$h_\omega(k) = S(k) - S(k + 1).$$

Таким образом, функции (3) и (4) могут быть вычислены как

$$S(k) = \sum_{j=k}^{Q-1} h_\omega(j),$$

$$\bar{\omega}(k) = \frac{1}{S(k)} \sum_{j=k}^{Q-1} j \cdot h_\omega(j).$$

Если для вычисления самой гистограммы $h_\omega(k)$ изображения $\omega(m, n)$, состоящего из N отсчётов, требуется $O(N)$ операций, то для вычисления всех отсчётов функций (3) и (4) потребуется дополнительно всего $O(Q)$ операций. Для этого нужно просто вычислять эти отсчёты в обратном порядке, ведь

$$S(k) = h_\omega(k) + S(k + 1),$$

$$\bar{\omega}(k) = \frac{1}{S(k)}(j \cdot h_{\omega}(j) + S(k+1)\bar{\omega}(k+1)),$$

и можно доопределить $S(Q) = 0, \bar{\omega}(Q) = 0$.

Возможность быстро вычислять предложенные признаки (3) и (4) при наличии гистограммы позволяет использовать их для описания больших изображений либо большого количества небольших изображений.

2. Результаты клинического использования разработанных методов анализа сцинтиграмм

Апробация эффективности предложенного метода анализа и системы распознавания проведена на выборке сцинтиграмм (размер матрицы 128 × 128) ренотрансплантата с различной степенью неравномерности распределения РФП пациентов различного пола и возраста. Входными данными являлись 192 реальных диагностических радионуклидных изображения почек, полученных при обследовании реципиентов почки Самарского центра трансплантации органов и тканей клиник Самарского государственного медицинского университета. Оценка сцинтиграмм выполнялась квалифицированными врачами-радиологами по пятибалльной шкале по степени выраженности очагового процесса. Обработка изображений позволила получить следующие группы: 1-я группа – 33 пациента с нормальным распределением РФП, 2-я группа – 40 человек со слабовыраженными изменениями, 3-я группа – 47 реципиентов с умеренно выраженными, 4-я группа – 58 пациентов со значительно выраженными, 5-я группа – 14 человек с резко выраженными изменениями паренхимы почки. Данное разделение позволило оценить итоговые данные разработанного метода.

В качестве значений порога k_j выбираются уровни яркости

$$k_j = \left[0,1(j+1) \max_{(m,n) \in D_{\omega}} (x(m,n)) + 0,5 \right]$$

для $j \in [1; 7] \cap \mathbf{Z}$. На рис. 2 представлены результаты пороговой обработки одного и того же изображения с различными порогами k_j . Для наглядности вместо самих изображений представлены их негативы, так же, как и на рис. 1.

Сцинтиграфия трансплантированных почек с ^{99m}Tc «Технемаг» выполнялась на планарной гамма-камере.

Всем реципиентам определяли скорость клубочковой фильтрации (СКФ) и уровень креатинина в сыворотке крови. Забор крови у пациентов и сцинтиграфию проводили в один день.

Анализ геометрической и яркостной характеристик радионуклидных изображений при различных типах распределения индикатора (табл. 1) свидетельствует о том, что при пороговой обработке изображений от 50 % до 80 % полученные объективные числовые значения позволяют сформировать независимую оценку наличия или отсутствия очаговых изменений

паренхимы почки, а также определить тип распределения индикатора в паренхиме ренотрансплантата у реципиентов.

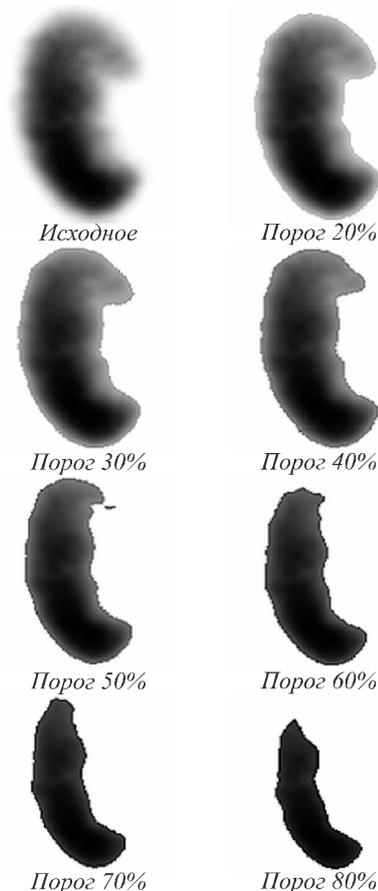


Рис. 2. Результаты пороговой обработки изображения

Изучаемые геометрическая и яркостная характеристики сцинтиграмм отражают функциональное состояние почечного трансплантата.

Табл. 1. Значения характеристик сцинтиграмм ренотрансплантата при различных видах распределения РФП

Доля (%)	Вид распределения РФП					
	Норма	Слабо выраженные	Умеренно выраженные	Значительно выраженные	Резко выраженные	
Площадь (3)	30	79,4±8,9	83,7±5,7	82,8±7,1	82±6,5	83,1±4,5
	40	67,9±10	72,3±7,4	70,5±9,3	69,2±8,3	71,2±4,8
	50	49±10,9	51,3±8,3	49,6±9,7	44,5±9,5	45,1±7,3
	60	39,2±9,9	40,1±8,5	38,2±9,6	32,2±8,9	31,6±6
	70	29,2±8,5	29,1±8,4	27,2±9,2	21,3±7,5	19,2±3,9
Яркость (4)	30	89,8±5,3	92,2±3,5	91,5±4,5	90,9±4,1	91,7±2,5
	40	82,5±6,7	85,3±5,2	83,9±6,8	82,5±6,2	83,9±3,1
	50	66,4±9,2	67,6±7,6	65,8±9,1	60,4±9,6	60,5±6,9
	60	55,9±10,2	55,8±8,7	53,6±10,3	46,6±10,2	45,6±6,5
	70	43,7±9,9	42,8±9,8	40,3±11,2	32,8±9,4	30±4,9
80	29,5±8,6	28,8±9,4	26±9,5	20,1±7,6	17,4±4,4	

Уровень доверия для доверительных интервалов: 0,95

Это подтверждается анализом их корреляции с уровнем креатинина и СКФ в сыворотке крови (табл. 2). Для всех указанных признаков гипотеза о некоррелированности с уровнем креатинина и СКФ отвергается на уровне значимости 0,05. Установлена наиболее значимая корреляция Спирмена [19] между СКФ и геометрической и яркостной характеристиками скинтиграмм при пороге, равном 40 % ($r_s = 0,41$ и $r_s = 0,4$ соответственно).

Табл. 2. Корреляция креатинина и СКФ со значениями характеристик скинтиграмм ренотрансплантата

Характеристики изображений (%)		Креатинин (мкмоль/л)	СКФ (мл/мин)
Площадь (3)	30	$r_s = -0,29$	$r_s = 0,39$
	40	$r_s = -0,31$	$r_s = 0,41$
	50	$r_s = -0,29$	$r_s = 0,35$
	60	$r_s = -0,26$	$r_s = 0,30$
	70	$r_s = -0,25$	$r_s = 0,26$
	80	$r_s = -0,21$	$r_s = 0,22$
Яркость (4)	30	$r_s = -0,29$	$r_s = 0,39$
	40	$r_s = -0,30$	$r_s = 0,40$
	50	$r_s = -0,26$	$r_s = 0,32$
	60	$r_s = -0,24$	$r_s = 0,27$
	70	$r_s = -0,22$	$r_s = 0,22$
	80	$r_s = -0,24$	$r_s = 0,23$

На рис. 3 изображены кривые логарифмической регрессии [20] значений функций (3) и (4) при доле яркости 40 % на СКФ. Каждая окружность соответствует отдельному пациенту: значение СКФ, определенное по результатам анализов, и значение соответствующего признака, вычисленное по нефросцинтиграмме. Наблюдается определенная зависимость, что позволяет говорить о возможности описания состояния трансплантата с помощью соответствующих признаков. Низкие значения площади и яркости выделенного с помощью пороговой обработки участка изображения соответствуют низким значениям СКФ.

Заключение

Разработанный метод автоматизированного анализа скинтиграмм почек объективизирует состояние паренхимы почечного трансплантата с помощью яркостных и геометрических характеристик скинтиграмм. Исследование выявило, что при пороговой обработке изображений с долей яркости от 40 % до 80 % полученные объективные числовые значения позволяют сформировать независимую оценку наличия или отсутствия очаговых изменений паренхимы почки. Предложенные параметры способны определять функциональное состояние почки. Использование исследуемого метода обеспечивает надежный количественный анализ РФП при скинтиграфии почек. Полученные данные спо-

собствуют стандартизации и расширению диагностических возможностей радионуклидных исследований почек.

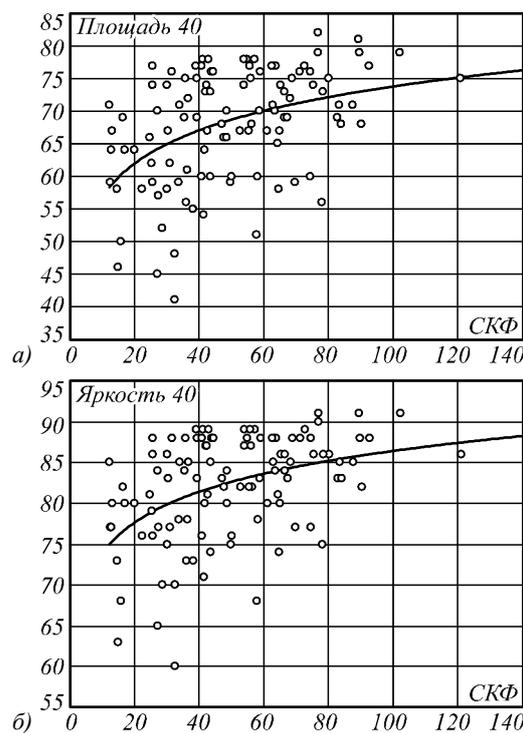


Рис. 3. Логарифмическая регрессия признаков на СКФ: площади (а) и средней яркости (б)

Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 14-07-97040-р_поволжье_a и 16-41-630761 р_a, а также Министерства образования и науки РФ в рамках мероприятий Программы повышения конкурентоспособности Самарского университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013-2020 годы и Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Биоинформатика, современные информационные технологии и математические методы в медицине».

Литература

1. **Ribeiro, M.P.** Effect of induction therapy in kidney transplantation in sensitive patients: analysis of risks and benefits / M.P. Ribeiro, T.V. Sandes-Freitas, K.H. Sato, M.A. Ribeiro Junior, H.T. Silva-Junior, J.O. Medina-Pestana // *Journal Brasileiro de Nefrologia*. – 2016. – Vol. 38(1). – P. 82-89. DOI: 10.5935/0101-2800.20160013.
2. **Ayaz, S.** Evaluation of the effects of recipient/donor gender on early/late postoperative renal graft functions by renal scintigraphy / S. Ayaz, E.A. Gencoglu, G. Moray, M.Y. Gozukara, M. Haberal // *Experimental and Clinical Transplantation*. – 2014. – Vol. 12(6). – P. 510-514. DOI: 10.6002/ect.2013.0275.
3. **Капишников, А.В.** Радионуклидная визуализация при оценке функционального состояния пересаженной почки в посттрансплантационном периоде / А.В. Капишников, А.В. Колсанов, Ю.С. Пышкина // *Вестник Российской академии медицинских наук*. – 2014. – № 11-12. – С. 89-96.
4. **Капишников, А.В.** Возможности динамической реносцинтиграфии в диагностике посттрансплантационных осложнений у реципиентов почки / А.В. Капишников, А.В. Колса-

- нов, Ю.С. Пышкина // Вестник трансплантологии и искусственных органов. – 2014. – Т. 16, № 2. – С. 39-45. DOI: 10.15825/1995-1191-2014-2-39-45.
5. **Глумов, Н.И.** Компьютерная обработка скintiграфических изображений лёгких / Н.И. Глумов, А.В. Капишников // Компьютерная оптика. – 2003. – № 25. – С. 158-164.
 6. **Dupont, P.J.** Late recurrent urinary tract infections may produce renal allograft scarring even in the absence of symptoms or vesicoureteric reflux / P.J. Dupont, E. Psimenou, R. Lord, J.R. Buscombe, A.J. Hilson, P. Sweny // Transplantation. – 2007. – Vol. 84, № 3. – P. 351-355. DOI: 10.1097/01.tp.0000275377.09660.f0.
 7. **Coulthard, M.G.** Reflux nephropathy in kidney transplants, demonstrated by dimercaptosuccinic acid scanning / M.G. Coulthard, M.J. Keir // Transplantation. – 2006. – Vol. 82, № 2. – P. 205-210.
 8. Радионуклидная диагностика для практических врачей / Под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. – Томск: СТТ, 2004. – 394 с.
 9. **Neubauer, N.** MAG3 renal transplant tomography SPECT with a non-SPECT agent / N. Neubauer, L. Johnson, M. Lemmers, B. Petri, J.S. Stevens // Clinical Nuclear Medicine. – 1996. – Vol. 21, № 1. – P. 11-14.
 10. **Hutchinson, C.** The significance of a defect on DMSA scan in children with renal transplants / C. Hutchinson, M. Beckett, P. Kiratli, I. Gordon, R.S. Trompeter, L. Rees // Pediatric Transplantation. – 2003. – Vol. 7, № 6. – P. 441-445.
 11. **Budihna, N.V.** Relevance of Tc-99m DMSA scintigraphy in renal transplant parenchymal imaging / N.V. Budihna, M. Milcinski, M. Kajtna-Koselj, M. Malovrh // Clinical Nuclear Medicine. – 1994. – Vol. 19, № 9. – P. 782-784.
 12. **Антонов, О.В.** Нозологические составляющие хронической болезни почек: терминология, эпидемиологические особенности и их удельный вес в структуре патологии органов мочевой системы (обзор литературы). Часть 2 / О.В. Антонов, Ю.Ю. Китаева, И.В. Антонова, А.А. Комарова, Г.П. Филиппов // Вестник СурГУ. Медицина. – 2013. – № 2(16). – С. 4-8.
 13. **Cairns, H.S.** 99mTc-DMSA imaging with tomography in renal transplant recipients with abnormal lower urinary tracts / H.S. Cairns, S. Spencer, A.J. Hilson, C.J. Rudge, G.H. Neild // Nephrology Dialysis Transplantation. – 1994. – Vol. 9, № 8. – P. 1157-1161. DOI: 10.1093/ndt/9.8.1157.
 14. **Grabe, M.** Инфекции мочевыводящих путей у пациентов с почечной недостаточностью, после трансплантации почки, с сахарным диабетом и иммуносупрессией. Рекомендации европейской ассоциации урологов / M. Grabe, R. Bartoletti, T.E. Bjerklund-johansen, H.M. Çek, R.S. Pickard, P. Tenke, F. Wagenlehner, B. Wullt // Эффективная фармакотерапия. – 2015. – № 6. – С. 4-14.
 15. **Гайдель, А.В.** Согласованные полиномиальные признаки для анализа полутоновых биомедицинских изображений / А.В. Гайдель // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 232-239. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-232-239.
 16. **Котина, Е.Д.** Обработка данных в радионуклидной диагностике / Е.Д. Котина, Д.А. Овсянников, В.А. Плоских, А.В. Бабин, О.Ф. Тузикова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 174-175.
 17. **Гайдель, А.В.** Исследование текстурных признаков для диагностики нефрологических заболеваний по ультразвуковым изображениям / А.В. Гайдель, С.Н. Ларионова, А.Г. Храмов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2014. – № 4(43). – С. 229-237.
 18. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Соيفер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичёва, В.А. Фурсов; под ред. В.А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с. – ISBN: 5-9221-0270-2.
 19. **Кобзарь, А.И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с. ISBN: 978-5-9221-1375-5.
 20. **Weisberg, S.** Applied Linear Regression / S. Weisberg. – New York: Wiley, 2013. – 368 p.

Сведения об авторах

Гайдель Андрей Викторович, 1989 года рождения, кандидат технических наук, в 2012 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва по направлению «Прикладная математика и информатика», в 2015 году защитил кандидатскую диссертацию. Работает ассистентом кафедры технической кибернетики Самарского Университета и стажёром-исследователем в Институте систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: компьютерная обработка изображений, теория распознавания образов, интеллектуальный анализ данных, теория алгоритмов. E-mail: andrey.gaidel@gmail.com

Храмов Александр Григорьевич, 1954 года рождения, д.т.н., доцент. В 1977 году окончил Куйбышевский авиационный институт им. академика С.П. Королёва по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». В 2006 году защитил докторскую диссертацию. В настоящее время профессор кафедры технической кибернетики Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. Область научных интересов: обработка и анализ биомедицинских изображений, интеллектуальный анализ данных, теория случайных процессов. E-mail: khramov@smr.ru

Капишников Александр Викторович, 1955 года рождения. В 1972 году окончил лечебный факультет Куйбышевского медицинского института. Докторскую диссертацию защитил в 2004 году. Заведует кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. Область научных интересов: лучевая диагностика и ядерная медицина в пульмонологии, остеологии, нефрологии и онкологии, информационные технологии медицинской радиологии, CADe и CADx-системы для компьютерной поддержки диагностики. E-mail: a.kapishnikov@gmail.com

Колсанов Александр Владимирович, 1974 года рождения. В 1997 году окончил Самарский государственный медицинский университет. Докторскую диссертацию защитил в 2003 году. Заведует кафедрой оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных технологий ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. Область научных интересов: хирургия, трансплантология, инновационные технологии в медицине. E-mail: avkolsanov@mail.ru.

Пышкина Юлия Сергеевна, 1985 года рождения. В 2008 году окончила Самарский государственный медицинский университет, в 2009 году – интернатуру по специальности «Рентгенология» и специализацию по «Радиологии», работает ассистентом кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики СамГМУ. Область научных интересов: лучевая диагностика и ядерная медицина в нефрологии, трансплантологии, компьютерный анализ медицинских изображений. E-mail: yu.pyshkina@yandex.ru.

ГРПТИ 28.23.15.

Поступила в редакцию 24 октября 2016 г. Окончательный вариант – 6 декабря 2016 г.

A METHOD FOR DIGITAL RENAL SCINTIGRAM ANALYSIS BASED ON BRIGHTNESS AND GEOMETRIC FEATURES

A.V. Gaidel^{1,2}, A.G. Khramov¹, A.V. Kapishnikov³, A.V. Kolsanov³, Yu.S. Pyshkina³

¹ Samara National Research University, Samara, Russia,

² Image Processing Systems Institute of the RAS –

Branch of the FSRC “Crystallography and Photonics” RAS, Samara, Russia,

³ Samara State Medical University, Samara, Russia

Abstract

We proposed a method of automated scintigram image processing enabling an objective evaluation of the renal parenchyma condition to be made based on scintigram brightness and geometric characteristics with threshold processing. We studied the method using a set of real radionuclide images of a renal transplant. The results of clinical studies confirm the effectiveness of the developed method. We obtained objective numerical values associated with thresholding the image from 40% to 80%, based on which one can form an independent assessment of the presence or absence of focal lesions in the renal parenchyma.

Keywords: image processing, pattern recognition, scintigraphy, kidney disease, transplantation.

Citation: Gaidel AV, Khramov AG, Kapishnikov AV, Kolsanov AV, Pyshkina YuS. A method for digital renal scintigram analysis based on brightness and geometric features. Computer Optics 2017; 41(1): 103-109. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-103-109.

Acknowledgements: The work was partially funded by the Russian Foundation of Basic Research (grants 14-07-97040-р_поволжье_a and 16-41-630761 p_a), the Russian Federation Ministry of Education and Science as part of Samara University's competitiveness enhancement program in 2013-2020 and the RAS basic research program "Bioinformatics, modern information technologies and mathematical methods in medicine".

References

- [1] Ribeiro MP, Sandes-Freitas TV, Sato KH, Ribeiro Junior MA, Silva-Junior HT, Medina-Pestana JO. Effect of induction therapy in kidney transplantation in sensitive patients: analysis of risks and benefits. J Bras Nefrol 2016; 38(1): 82-89. DOI: 10.5935/0101-2800.20160013.
- [2] Ayaz S, Gencoglu EA, Moray G, Gozukara MY, Haberal M. Evaluation of the effects of recipient/donor gender on early/late postoperative renal graft functions by renal scintigraphy. Exp Clin Transplant 2014; 12(6): 510-514. DOI: 10.6002/ect.2013.0275.
- [3] Kapishnikov AV, Kolsanov AV, Pyshkina JuS. Radionuclide imaging in the evaluation of the functional state of the transplanted kidney in the post-transplant period [In Russian]. Annals of the Russian academy of medical sciences 2014; 11-12: 89-96.
- [4] Kapishnikov AV, Kolsanov AV, Pyshkina YuS. Dynamic renal scintigraphy potential to diagnose renal posttransplant complications in kidney recipients [In Russian]. Russian journal of transplantology and artificial organs 2014; 16(2): 39-45. DOI: 10.15825/1995-1191-2014-2-39-45.
- [5] Glumov NI, Kapishnikov AV. Computer processing of scintigraphic lung images [In Russian]. Computer Optics 2003; 25: 158-164.
- [6] Dupont PJ, Psimenou E, Lord R, Buscombe JR, Hilson AJ, Sweny P. Late recurrent urinary tract infections may produce renal allograft scarring even in the absence of symptoms or vesicoureteric reflux. Transplantation 2007; 84(3): 351-355. DOI: 10.1097/01.tp.0000275377.09660.f0.
- [7] Coulthard MG, Keir MJ. Reflux nephropathy in kidney transplants, demonstrated by dimercaptosuccinic acid scanning. Transplantation 2006; 82(2): 205-210.
- [8] Lishmanov YuB, Chernov VI. Radionuclide diagnostics for practitioners [In Russian]. Tomsk: “STT” Publisher; 2004.
- [9] Neubauer N, Johnson L, Lemmers M, Petri B, Stevens JS. MAG3 renal transplant tomography SPECT with a non-SPECT agent. Clin Nucl Med 1996; 21(1): 11-14.

- [10] Hutchinson C, Beckett M, Kiratli P, Gordon I, Trompeter RS, Rees L. The significance of a defect on DMSA scan in children with renal transplants. *Pediatr Transplant* 2003; 7(6): 441-445.
- [11] Budihna NV, Milcinski M, Kajtna-Koselj M, Malovrh M. Relevance of Tc-99m DMSA scintigraphy in renal transplant parenchymal imaging. *Clin Nucl Med* 1994; 19(9): 782-784.
- [12] Antonov OV, Kitaeva JuJu, Antonova IV, Komarova AA, Philippov GP. Nosologic components of chronic kidney disease: terminology, epidemiological features and their unit weight in the urinary pathology structure (literature review). Part 1 [In Russian]. *Annals of Surgut State University. Medicine* 2013; 2(16): 4-8.
- [13] Cairns HS, Spencer S, Hilson AJ, Rudge CJ, Neild GH. 99mTc-DMSA imaging with tomography in renal transplant recipients with abnormal lower urinary tracts. *Nephrol Dial Transplant* 1994; 9(8): 1157-61. DOI: 10.1093/ndt/9.8.1157.
- [14] Grabe M, Bartoletti R, Bjerklund-Johansen TE, Çek HM, Pickard RS, Tenke P, Wagenlehner F, Wullt B. Urinary tract infections in renal insufficiency, transplant recipients, diabetes mellitus and immunosuppression. Guideline of the European Association of Urology [In Russian]. *Effective Pharmacotherapy* 2015; 6: 4-14.
- [15] Gaidel AV. Matched polynomial features for the analysis of grayscale biomedical images. *Computer Optics* 2016; 40(2): 232-239. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-232-239.
- [16] Kotina ED, Ovsyannikov DA, Ploskikh VA, Babin AV, Tuzikova OF. Data processing in radionuclide diagnostics [In Russian]. *Ulyanovsk Medico-biological Journal* 2014; 1: 174-175.
- [17] Gaidel AV, Larionova SN, Khranov AG. Research of textural features for the diagnostics of nephrological diseases using ultrasound images [In Russian]. *Vestnik of the Samara State Aerospace University* 2014; 1(43): 229-237.
- [18] Soifer VA, ed, Gashnikov MV, Glumov NI, Ilyasova NYu, Myasnikov VV, Popov SB, Sergeev VV, Khranov AG, Chernov AV, Chernov VM, Chicheva MA, Fursov VA. *Methods for computer image processing* [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit"; 2003. ISBN: 5-9221-0270-2.
- [19] Kobzar AI. *Applied mathematical statistics. For engineers and scientists* [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit"; 2006. ISBN: 978-5-9221-1375-5.
- [20] Weisberg S. *Applied Linear Regression*. New York: Wiley; 2013.

Authors' information

Andrey Viktorovich Gaidel (b. 1989) graduated from Samara State Aerospace University in 2012, majoring in Applied Mathematics and Informatics. He received his PhD in 2015. Teaching assistant of the Technical Cybernetics department and engineer of SRL-35 of Samara National Research University, intern researcher of the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests are currently focused on computer image processing, pattern recognition, data mining and theory of computation. E-mail: andrey.gaidel@gmail.com.

Alexander Grigorievich Khranov (b. 1954) is a Doctor of Engineering, Associate Professor. In 1977 he graduated from Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolyov, majoring in Automated Systems of Information Processing and Management. He received his D.Sc. degree in 2006. Currently he is a professor at the Technical Cybernetics department of Samara National Research University. Research interests: biomedical image processing and analysis, data mining, theory of random processes. E-mail: khranov@smr.ru.

Aleksandr Viktorovich Kapishnikov (b.1955). In 1972 he graduated from the Medical faculty of Kuibyshev Medical Institute. Doctor of Science in Medicine (2004). Head of Diagnostic Radiology and Medical Informatics department of Samara State Medical University. Research interests: diagnostic radiology and nuclear medicine in pulmonology, osteology, nephrology and oncology, information technology in medical imaging, computer-based diagnostic support system (CADe and CADx). E-mail: a.kapishnikov@gmail.com.

Aleksandr Vladimirovich Kolsanov (b.1974). In 1997 he graduated from Samara State Medical University. Doctor of Science in Medicine (2003). Head of Surgery and Clinical Anatomy Course with Innovative Technologies department of Samara State Medical University. Research interests: surgery, transplantation, innovative technologies in medicine. E-mail: avkolsanov@mail.ru.

Yuliya Sergeevna Pyshkina (b. 1985). In 2008 she graduated from Samara State Medical University, residency in Radiology in 2009. Assistant lecturer of Radiology with Course of Medical Informatics department of Samara State Medical University. Research interests: diagnostic radiology and nuclear medicine in nephrology and transplantation, digital analysis of medical images. E-mail: yu.pyshkina@yandex.ru.

Received October 24, 2016. The final version – December 6, 2016.