

# Автоматическое пакетное определение рентгеновской плотности печени для выявления субклинических заболеваний печени

Н. С. Кульберг<sup>1,2</sup>, А. Б. Елизаров<sup>\*,1</sup>, В. П. Новик<sup>1</sup>, В. А. Гомболевский<sup>1</sup>,  
А. П. Гончар<sup>1</sup>, В. Ю. Босин<sup>1</sup>, А. В. Владзимирский<sup>1</sup>, С. П. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУ здравоохранения г. Москвы

«Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

<sup>2</sup> ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Институт управления» РАН, Москва

## Automatic Batch Determining Radiodensity of the Liver to Detect Subclinical Liver Cases

N. S. Kulberg<sup>1,2</sup>, A. B. Elizarov<sup>\*,1</sup>, V. P. Novic<sup>1</sup>, V. A. Gombolevskiy<sup>1</sup>,  
A. P. Gonchar<sup>1</sup>, V. Yu. Bosin<sup>1</sup>, A. V. Vladzimirskiy<sup>1</sup>, S. P. Morozov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department», Russia.

<sup>2</sup> Federal Research Center «Computer Science and Control» of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

### Реферат

В работе предлагается система автоматической сегментации и определения рентгеновской плотности печени, разработанная авторами. Проведено ретроспективное исследование характеристик системы. Система способна корректно определять значения рентгеновской плотности как нормальной печени, так и печени с патологическими изменениями, способна работать с томограммами, где изображение печени представлено не полностью.

Система может быть использована для автоматического определения рентгеновской плотности печени на больших базах компьютерных томограмм. Она может быть использована для выявления субклинических заболеваний печени, а также для научно-исследовательских работ.

**\* Елизаров Алексей Борисович**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.

Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: a.elizarov@npcmr.ru

ORCID: 0000-0003-3786-4171

**Elizarov Alexey Borisovich**, Ph. D. Phys.-Math., Senior scientist, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department».

Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.

Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: a.elizarov@npcmr.ru

ORCID: 0000-0003-3786-4171

**Ключевые слова:** компьютерная томография, автоматическая сегментация печени, автоматическая денситометрия, автоматизированная система поддержки принятия решений.

## Abstract

The paper proposes a system for automatic segmentation and determining radiodensity of the liver developed by the authors. Retrospective study of the system is performed. The system is able to correctly determine radiodensity of both normal liver and the liver with pathological changes, able to handle tomograms where the liver is presented partially.

The system can be used for automatic determining radiodensity of the liver on large data bases of computed tomograms. It can be used for revealing subclinical cases of the liver as well as for research works.

**Key words:** Computed Tomography, Automatic Liver Segmentation, Automatic Densitometry, Decision Support System.

## Актуальность

Аномалии развития печени и болезни органов гепатобилиарной системы по частоте распространенности в популяции занимают третье место, уступая лишь поражениям бронхолегочного аппарата и сердечно-сосудистым заболеваниям [6, 7]. У лиц старше 40 лет они обнаруживаются в 20–30 % случаев при проведении рентгеновской компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансного исследования или эхографии [10, 13]. При этом остается очень высоким удельный вес случайных находок при выполнении исследований, направленных на выявление патологических изменений в других органах и системах [4, 11]. Значительная часть асимптомных поражений органов гепатобилиарной области остается незамеченной врачами, поскольку их основные усилия направлены на поиск патологических изменений в легочной и сердечно-сосудистой системах, которые обычно сопровождаются четкими клиническими признаками. По этой причине заболевания печени часто диагностируются с большим опозданием, в результате чего упускаются сроки своевременного начала ле-

чения. Следует отметить, что в последние годы предпринимаются активные попытки изменить такое положение. Стимулом к развитию этого направления послужили два фактора: широкое распространение рентгеновской КТ при проведении скрининговых исследований и большой процент попадания изображений печени в поле зрения исследователей при выполнении томографии других органов [5, 15].

Анализ значений рентгеновской плотности печени позволяет диагностировать ряд заболеваний печени, к примеру, жировую дистрофию печени [12, 18]. Определение рентгеновской плотности вручную представляет собой рутинный процесс, требующий заметных затрат времени врача. Это затрудняет выполнение анализа плотности печени при проведении исследований других органов. Применение автоматического анализа данных сделает возможным выявление субклинических заболеваний печени при КТ-исследованиях других органов (в том числе при скрининге), в которых область томограммы захватывает печень.

**Цель:** определить возможность автоматического выявления субклинических

диффузных поражений печени посредством пакетного определения рентгеновской плотности печени в больших массивах клинических исследований.

### Материалы и методы

Система денситометрии печени, подходящая для выявления субклинических заболеваний печени, должна обладать следующими характеристиками:

- полностью автоматическая обработка больших наборов данных;
- возможность визуального контроля результатов обработки;
- обработка исследований, на которых область томограммы захватывает печень не полностью (КТ органов грудной полости);
- учет возможности наличия в органе зон с различной рентгеновской плотностью (например, нормальная ткань и патологическое образование), значения плотности должны быть определены отдельно для каждой из зон.

Работа систем анализа плотности печени состоит из двух этапов: определение границ печени (сегментация) и собственно определение характеристик плотности в пределах найденных границ.

Многие алгоритмы сегментации органов требуют задания диапазона допустимых плотностей органа. Вариация плотности печени слишком велика для использования в таких алгоритмах, диапазоны плотностей печени и соседних органов перекрываются. Таким образом, для сегментации должны использоваться более сложные алгоритмы, учитывающие, кроме плотности, также форму органа. Несмотря на большое количество исследований в данной области, большинство существующих алгоритмов характеризуются недостаточной

точностью и надежностью работы [9, 14, 16, 17].

В работе [8] проведено исследование работы алгоритма сегментации печени, основанного на применении нейронных сетей. Авторы работы отмечают хорошее качество работы алгоритма на неконтрастированных КТ-изображениях печени. Программное обеспечение, реализующее данный алгоритм, на текущий момент не является коммерчески доступным.

Единственная система автоматической сегментации печени, доступная широкому кругу врачей, — программа CTLiverAnalysis, входящая в состав ПО IntelliSpace Portal (Philips). Система автоматически обнаруживает печень при КТ-исследовании. Однако эта система часто не находит печень, рентгеновская плотность которой значительно отличается от нормальной (+ 50–60 HU). Кроме того, эта система не может работать со значительным количеством томограмм, содержащих неполное изображение печени.

Математические основы предложенного авторами алгоритма сегментации отличаются от использованных в работе [8]. При поиске положения печени используются корреляционные методы сравнения с набором предопределенных шаблонов формы. Система допускает большую вариабельность денситометрических характеристик печени, характерную для органа с патологическими изменениями, поскольку алгоритм сегментации работает без априорных гипотез о плотности печени и окружающих органов. Благодаря этому становится возможным выделять печень со значительными отклонениями плотности от нормы. Алгоритм автоматического определения денситометри-

ческих характеристик учитывает возможную неоднородность органа. При наличии в анализируемом объеме нескольких областей с различными значениями плотности (нормальная ткань и патологические образования) показатели плотности рассчитываются отдельно для каждой области.

Система содержит программу STLiverExam [1], которая позволяет осуществлять определение плотности печени в автоматическом пакетном режиме.

Протокол работы программы, кроме числовых значений плотности, содержит изображения срезов томограммы в трех проекциях с изображением выделенной печени и гистограммы плотности печени в выделенной области, что позволяет визуально контролировать корректность работы системы.

Анализ работы системы осуществлен путем ретроспективного исследования. Для анализа были отобраны исследования из Единой радиологической информационной системы г. Москвы. Использовались серии с шагом сечений не более 3 мм, так как при большом шаге сечений алгоритм дает низкую точность сегментации печени. Произведен анализ корректности сегментации: чувствительность, специфичность и анализ точности определения рентгеновской плотности печени. Под корректной сегментацией в данной работе понимается факт нахождения значительного участка печени без захвата смежных органов, что является достаточным для денситометрии.

В тестах чувствительности и точности определения плотности были использованы томограммы пациентов с нормальной печенью и различного рода ее патологиями. При определении чувствительности использовались исследования брюшной полости, содержащие

полные изображения печени, а также исследования органов грудной полости, на которых печень представлена не полностью. Тестирование на изображениях органов грудной полости связано с проверкой возможности автоматического выявления субклинических заболеваний печени, поскольку КТ органов грудной полости выполняются наиболее часто. Для определения специфичности сегментации использовались томограммы, заведомо не содержащие изображения печени (исследования конечностей, головы, шейного отдела позвоночника). Корректность сегментации определялась визуально по изображениям сечений томограммы, содержащимся в протоколе вывода системы.

При тестировании точности определения рентгеновской плотности в качестве референсных значений использованы значения плотности, измеренные вручную. Ручное измерение плотности печени проводилось во II, IV и VII-VIII сегментах с последующим вычислением среднего значения плотности.

## Результаты и их обсуждение

Ретроспективный анализ проведен на 700 исследованиях КТ, полученных с использованием стандартных и низкодозовых протоколов. Результаты определения чувствительности и специфичности представлены в табл. 1 и 2. Общие показатели: чувствительность — 77,3 %, специфичность — 100 %, AUC — 0,887. Алгоритм сегментации корректно находит положение печени, даже если она представлена на томограмме не полностью (в случае КТ органов грудной полости) или значение ее плотности сильно отличается от нормальных значений (в печени имеются патологические изменения раз-

Таблица 1

**Тест чувствительности сегментации печени**

Анатомическая область	Общее количество исследований	Результат обработки	
		Печень не выделена или выделена неверно	Печень выделена
Брюшная полость	18	4	14
Грудная клетка	366	83	255

Таблица 2

**Тест специфичности сегментации печени**

Анатомическая область	Общее количество исследований	Результат обработки	
		Печень выделена	Печень не выделена
Голова	183	0	183
Шея	53	0	53
Конечности	77	0	77

личного характера). Для работы алгоритма достаточно, чтобы изображение включало 50 % объема печени.

Для анализа точности определения показателей плотности печени было случайным образом отобрано 91 КТ-исследование, охватывающее область печени, для пациентов в возрасте от 50 до 74 лет. Отобранные исследования выполнялись на томографах Toshiba Aquilion с использованием протокола Body, с толщиной среза 0,5–1 мм, ток на трубке 20–494 мА, напряжение на трубке 120 и 135 кВ. Среди них отобраны томограммы, на которых автоматическая сегментация печени была выполнена корректно: 71 исследование из 91. Диапазон показателей плотности печени при ручном измерении среди отобранных томограмм составил от 5,1 до 72,6 HU.

Разница значений плотности при ручном и автоматическом измерении составила: максимум 8,6 HU, СКО 3,0

HU, средний модуль 2,3 HU, 95-ый процентиль 7,0 HU.

Разработанная система обеспечивает автоматическое пакетное определение рентгеновской плотности как нормальной печени, так и печени с патологическими изменениями.

На рис. 1 приведен результат работы системы на образце с новообразованием печени значительного объема, имеющим плотность +23,5 HU, существенно отличающуюся от плотности нормальной печени. Разработанная авторами система сегментировала печень вместе с новообразованием, что дало возможность автоматически определить плотность нормальной ткани и патологического образования печени в данном образце. Плотность нормальной ткани 64,9 HU, плотность патологического образования: 23,5 HU.

На рис. 2 показан результат работы системы на образце с печенью, имеющей значительно пониженную плотность.

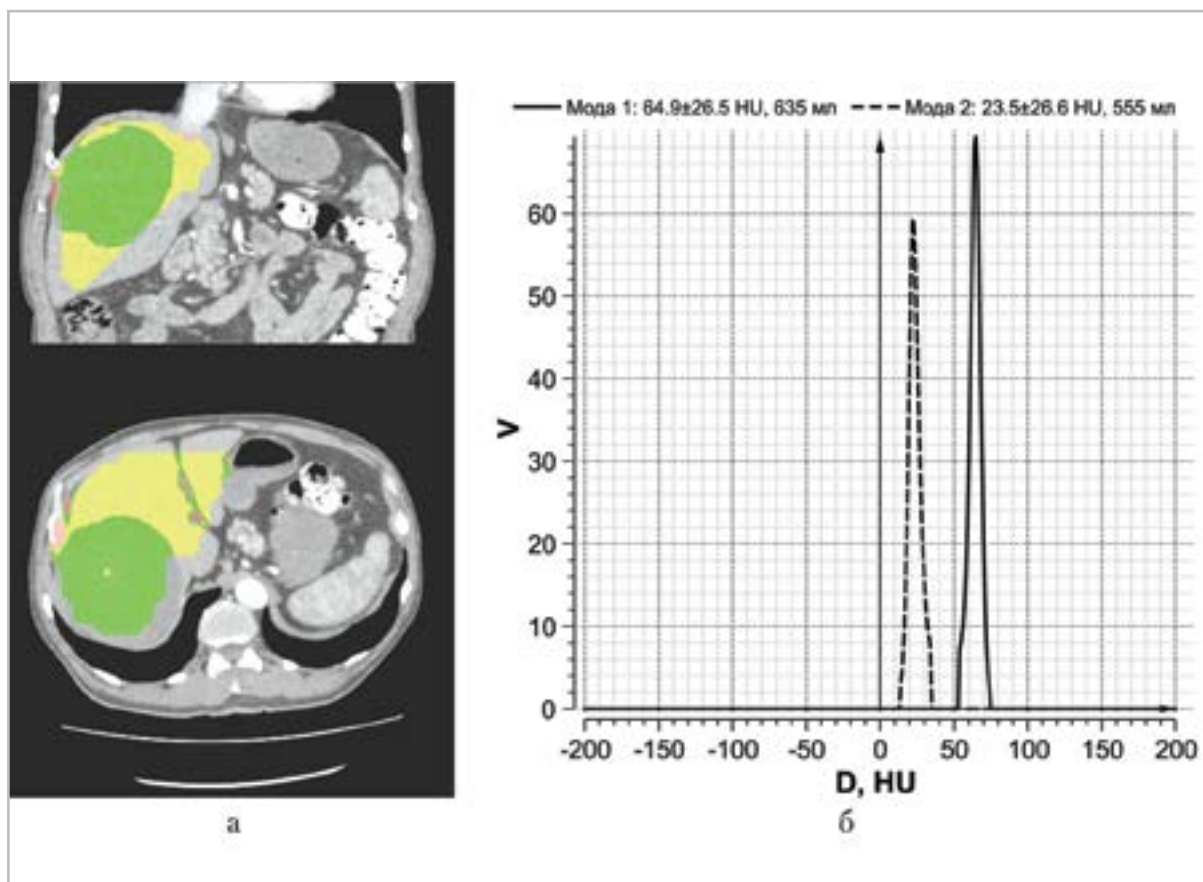


Рис. 1. Результат автоматической сегментации печени и измерения плотности на исследовании печени с новообразованием значительного объема: *а* — результат сегментации, разными цветами отмечены выделенные области различной плотности: *желтый* — область нормальной ткани (мода 1), *зеленый* — область патологического образования (мода 2); *б* — распределения рентгеновской плотности с выделенными областями различной плотности: *сплошная линия* — область нормальной ткани (мода 1), *пунктирная линия* — область патологического образования (мода 2)

Разработанная система успешно сегментировала печень и определила рентгеновскую плотность органа: 14,4 HU.

Необходимо отметить, что обработка подобных образцов с патологиями представляет большое значение для практических и научных задач здравоохранения.

Точность определения рентгеновской плотности позволяет выявлять случаи жирового гепатоза средней и тяжелой степени, для которых характерно снижение рентгеновской плотности бо-

лее чем на 10 HU по сравнению с нормой.

Чтобы снизить искажения, вызванные шумами, будут использованы алгоритмы фильтрации КТ изображений, разработанные коллективом. Для уменьшения влияния шумов на рассчитываемые денситометрические показатели будут применяться алгоритмы фильтрации компьютерных томограмм, разработанные коллективом [2, 3]. Для повышения диагностической точности технологии следует реализовать также



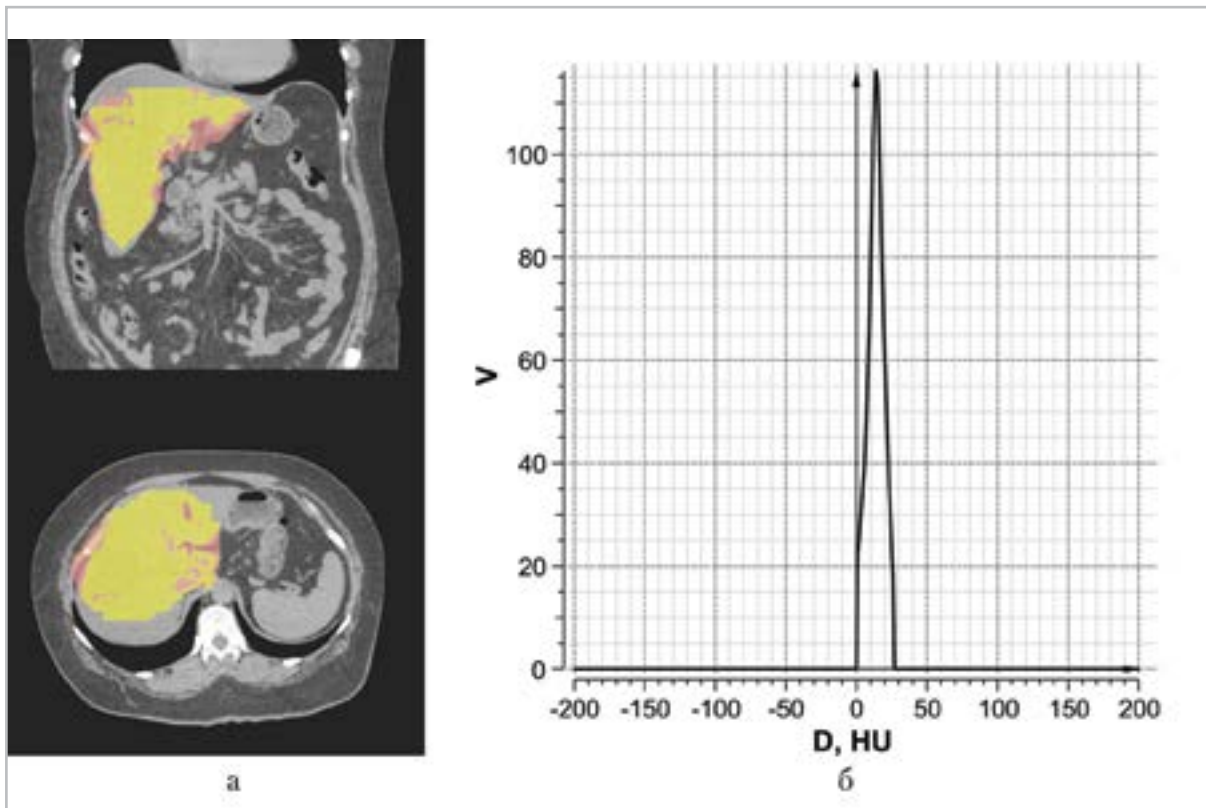


Рис. 2. Автоматическое выделение печени и определение плотности ткани печени разработанной системой на образце со значительно пониженной плотностью печени: *а* — результат сегментации, *желтым* цветом отмечена выделенная область; *б* — распределение рентгеновской плотности

автоматическую сегментацию и денситометрию селезенки с последующим вычислением индексов L/S, L-S [18].

### Выводы

Разработанная технология может быть использована для:

- автоматического определения денситометрических характеристик печени на автоматизированном рабочем месте врача-рентгенолога, что позволит освободить врача от рутинных процедур;
- автоматического анализа КТ-исследований, выполняемых в клиниках и поступающих в базы данных с целью выявления субклинических

заболеваний печени, а также для выполнения научно-исследовательских работ.

Планируется проведение масштабного скринингового исследования на базе одного из пульмонологических лечебных заведений г. Москвы для выявления и оказания помощи пациентам с субклиническими заболеваниями печени.

Планируется доработать технологию для автоматической сегментации и определения денситометрических характеристик некоторых других органов.

### Список литературы

1. Кульберг Н. С., Елизаров А. Б., Ковбас В. С. Программа сегментации изобра-

- жения печени и определения рентгеновской плотности печени CTLiverExam. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660983. 2019.
2. *Усанов М. С., Кульберг Н. С., Морозов С. П.* Опыт применения адаптивных гомоморфных фильтров для обработки компьютерных томограмм // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 2. С. 33–42.
  3. *Усанов М. С., Кульберг Н. С., Морозов С. П.* Разработка алгоритма анизотропной нелинейной фильтрации данных компьютерной томографии с применением динамического порога // Компьютерные исследования и моделирование. 2019. Т. 11. № 2. С. 233–248. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-233-248.
  4. *Choi S. H., Kwon H. J., Lee S. Y. et al.* Focal hepatic solid lesions incidentally detected on initial ultrasonography in 542 asymptomatic patients // *Abdom. Radiol.* 2016. V. 41. P. 265–272. DOI: 10.1007/s00261-015-0567-9.
  5. *Collin P., Rinta-Kiikka I., Rty S., Laukkarinen J., Sand J.* Diagnostic work-up of liver lesions: Too long time with too many examinations // *Scand. J. Gastroenterol.* 2015. V. 50. P. 355–359. DOI: 10.3109/00365521.2014.999349.
  6. *Gore R. M., Thakrar K. H., Wenzke D. R., et al.* That liver lesion on MDCT in the oncology patient: is it important? // *Cancer Imag.* 2012. V. 12. № 2. P. 373–384. DOI: 10.1102/1470-7330.2012.9028.
  7. *Gore R. M., Pickhardt P. J., Morteale K. J., Fishman E. K., Horowitz J. M., Fimmel C. J., Talamonti M. S., Berland L. L., Pandharipande P. V.* Management of incidental liver lesions on ct: a white paper of the ACR incidental findings committee. *j am coll radiol.* 2017. V. 14. № 11. P. 1429–1437. DOI: 10.1016/j.jacr.2017.07.018.
  8. *Graffy P. M., Sandfort V., Summers R. M., Pickhardt P. J.* Automated Liver Fat Quantification at nonenhanced abdominal CT for population-based steatosis assessment // *Radiol.* 2019. Online. DOI: 10.1148/radiol.2019190512.
  9. *Huang Q., Ding H., Wang X., Wang G.* Fully automatic liver segmentation in CT images using modified graph cuts and feature detection // *Comput. Biol. Med.* 2018. V. 95. P. 198–208. DOI: 10.1016/j.compbio.2018.02.012.
  10. *Kaltenbach T. E., Engler P., Kratzer W., Oetzuerk S., Seufferlein T., Haenle M. M., Graeter T.* Prevalence of benign focal liver lesions: ultrasound investigation of 45,319 hospital patients // *Abdom. Radiol.* 2016. V. 41. № 1. P. 25–32. DOI: 10.1007/s00261-015-0605-7.
  11. *Maxwell A. W., Keating D. P., Nickerson J. P.* Incidental abdominopelvic findings on expanded field-of-view lumbar spinal importance, and concordance in interpretation by neuroimaging and body imaging radiologists // *Clin. Radiol.* 2015. V. 70. № 2. P. 161–167. DOI: 10.1016/j.crad.2014.10.016.
  12. *Pickhardt P. J., Park S. H., Hahn L., Lee S. G., Bae K. T., Yu E. S.* Specificity of unenhanced CT for non-invasive diagnosis of hepatic steatosis: Implications for the investigation of the natural history of incidental steatosis // *Eur. Radiol.* 2012. V. 22. № 5. P. 1075–1082. DOI: 10.1007/s00330-011-2349-2.
  13. *Quattrocchi C. C., Giona A., Di Martino A. C. et al.* Extra-spinal incidental findings at lumbar spine MRI in the general population: a large cohort study // *Insights Imaging.* 2013. V. 4. № 3. P. 301–308. DOI: 10.1007/s13244-013-0234-z.



14. *Spinczyk D., Kraso A.* Automatic liver segmentation in computed tomography using general-purpose shape modeling methods. 2018. BioMedical Engineering OnLine V. 17. № 65. DOI: 10.1186/s12938-018-0504-6.
15. *Venkatesh S. K., Chandan V., Roberts L. R.* Liver Masses: A Clinical, Radiologic, and Pathologic Perspective. Clin Gastroenterol Hepatol. 2014. V. 12. P. 1414–1429. DOI: 10.1016/j.cgh.2013.09.017.
16. *Xuesong L., Qinlan X., Yunfei Zh., Defeng W.* Fully automatic liver segmentation combining multi-dimensional graph cut with shape information in 3D CT images. Scientific Reports. 2018. V. 8. № 10700. DOI: 10.1038/s41598-018-28787-y.
17. *Yang D., Xu D., Zhou K. S., Georgescu B., Chen M., Grbic S., Metaxas D., Comaniciu D.* Automatic Liver Segmentation Using an Adversarial Image-to-Image Network. In: Descoteaux M., Maier-Hein L., Franz A., Jannin P., Collins D., Duchesne S. (eds) Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention MICCAI 2017. MICCAI 2017. Lecture Notes in Computer Science. 2017. V. 10435. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-66179-7\_58.
18. *Zeb I., Li D., Nasir K., Katz R., Larijani V. N., Budoff M. J.* Computed Tomography Scans in the Evaluation of Fatty Liver Disease in a Population Based Study. The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. Acad Radiol. 2012. V. 19. № 7. P. 811–818. DOI: 10.1016/j.acra.2012.02.022.
2. *Usanov M. S., Kulberg N. S., Morozov S. P.* Usage of adaptive homomorphic filters for CT processing. Journal of Information Technologies and Computing Systems. 2017. No. 2. P. 33–42 (in Russian).
3. *Usanov M. S., Kulberg N. S., Morozov S. P.* Development of anisotropic non-linear noise-reduction algorithm for computed tomography data with context dynamic threshold. Computer Research and Modeling. 2019. V. 11. No. 2. P. 233–248. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-233-248 (in Russian).
4. *Choi S. H., Kwon H. J., Lee S. Y. et al.* Focal hepatic solid lesions incidentally detected on initial ultrasonography in 542 asymptomatic patients. Abdom. Radiol. 2016. V. 41. P. 265–272. DOI: 10.1007/s00261-015-0567-9.
5. *Collin P., Rinta-Kiikka I., Rty S., Laukarinen J., Sand J.* Diagnostic workup of liver lesions: Too long time with too many examinations. Scand. J. Gastroenterol. 2015. V. 50. P. 355–359. DOI: 10.3109/00365521.2014.999349.
6. *Gore R. M., Thakrar K. H., Wenzke D. R., et al.* That liver lesion on MDCT in the oncology patient: is it important? Cancer Imaging. 2012. V. 12. No. 2. P. 373–384. DOI: 10.1102/1470-7330.2012.9028.
7. *Gore R. M., Pickhardt P. J., Morteale K. J., Fishman E. K., Horowitz J. M., Fimmel C. J., Talamonti M. S., Berland L. L., Pandharipande P. V.* Management of incidental liver lesions on CT: a white paper of the ACR incidental findings committee. J. Am. Coll. Radiol. 2017. V. 14. No. 11. P. 1429–1437. DOI: 10.1016/j.jacr.2017.07.018.
8. *Graffy P. M., Sandfort V., Summers R. M., Pickhardt P. J.* Automated liver fat quantification at nonenhanced abdominal CT for population-based steatosis

## References

1. *Kulberg N. S., Elizarov A. B., Kovbas V. S.* Program of liver image segmentation and determining radiodensity of the liver CT LiverExam. Certificate of state registration of the computer program No. 2019660983. 2019 (in Russian).

- assessment. *Radiol.* 2019. Online. DOI: 10.1148/radiol.2019190512.
9. *Huang Q., Ding H., Wang X., Wang G.* Fully automatic liver segmentation in CT images using modified graph cuts and feature detection. *Comput. Biol. Med.* 2018. V. 95. P. 198–208. DOI: 10.1016/j.compbimed.2018.02.012.
  10. *Kaltenbach T. E., Engler P., Kratzer W., Oeztuerk S., Seufferlein T., Haenle M. M., Graeter T.* Prevalence of benign focal liver lesions: ultrasound investigation of 45,319 hospital patients. *Abdom. Radiol.* 2016. V. 41. No. 1. P. 25-32. DOI: 10.1007/s00261-015-0605-7.
  11. *Maxwell A. W., Keating D. P., Nickerson J. P.* Incidental abdominopelvic findings on expanded field-of-view lumbar spinal importance, and concordance in interpretation by neuroimaging and body imaging radiologists. *Clin. Radiol.* 2015. V. 70. No. 2. P. 161–167. DOI: 10.1016/j.crad.2014.10.016.
  12. *Pickhardt P. J., Park S. H., Hahn L., Lee S. G., Bae K. T., Yu E. S.* Specificity of unenhanced CT for non-invasive diagnosis of hepatic steatosis: Implications for the investigation of the natural history of incidental steatosis. *Eur Radiol.* 2012. V. 22. No. 5. P. 1075–1082. DOI: 10.1007/s00330-011-2349-2.
  13. *Quattrocchi C. C., Giona A., Di Martino A. C. et al.* Extra-spinal incidental findings at lumbar spine MRI in the general population: a large cohort study. *Insights Imaging.* 2013. V. 4. No. 3. P. 301–308. DOI: 10.1007/s13244-013-0234-z.
  14. *Spinczyk D., Kraso A.* Automatic liver segmentation in computed tomography using general-purpose shape modeling methods. *BioMedical Engineering.* 2018. OnLine V. 17. No. 65. DOI: 10.1186/s12938-018-0504-6.
  15. *Venkatesh S. K., Chandan V., Roberts L. R.* Liver Masses: A Clinical, Radiologic, and Pathologic Perspective. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2014. V. 12. P. 1414–1429. DOI: 10.1016/j.cgh.2013.09.017.
  16. *Xuesong L., Qinlan X., Yunfei Zh., Defeng W.* Fully automatic liver segmentation combining multi-dimensional graph cut with shape information in 3D CT images. *Scientific Reports.* 2018. V. 8. No. 10700. DOI: 10.1038/s41598-018-28787-y.
  17. *Yang D., Xu D., Zhou K. S., Georgescu B., Chen M., Grbic S., Metaxas D., Comaniciu D.* Automatic liver segmentation using an adversarial image-to-image Network. Descoteaux M., Maier-Hein L., Franz A., Jannin P., Collins D., Duchesne S. (eds.) *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention. MICCAI 2017. MICCAI 2017. Lecture Notes in Computer Science.* 2017. V. 10435. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-66179-7\_58.
  18. *Zeb I., Li D., Nasir K., Katz R., Larijani V. N., Budoff M. J.* Computed Tomography Scans in the Evaluation of Fatty Liver Disease in a Population Based Study. The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Acad Radiol.* 2012. V. 19. No. 7. P. 811–818. DOI: 10.1016/j.acra.2012.02.022.

### Сведения об авторах

**Кульберг Николай Сергеевич**, кандидат физико-математических наук, руководитель отдела развития средств медицинской визуализации, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы». Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1. Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: kulberg@nrcmr.ru ORCID: 0000-0001-7046-7157

**Kulberg Nikolaj Sergeevich**, Ph. D. Phys.-Math., Head of Department, Monitoring and Controlling Tools Design Department Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: kulberg@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0001-7046-7157

**Елизаров Алексей Борисович**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела развития средств медицинской визуализации, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: a.elizarov@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0003-3786-4171

**Elizarov Aleksey Borisovich**, Ph. D. Phys.-Math., Senior scientist, Monitoring and Controlling Tools Design Department Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: a.elizarov@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0003-3786-4171

**Новик Владимир Петрович**, научный сотрудник отдела развития средств медицинской визуализации, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: v.novik@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0002-6752-1375

**Novik Vladimir Petrovich**, Scientist, Monitoring and Controlling Tools Design Department Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: v.novik@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0002-6752-1375

**Гомболевский Виктор Александрович**, кандидат медицинских наук, руководитель отдела развития качества радиологии, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: gombolevskiy@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0003-1816-1315

**Gombolevskiy Viktor Aleksandrovich**, Ph. D. Med., Head of Department, Department of Radiology Quality Development Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: gombolevskiy@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0003-1816-1315

**Гончар Анна Павловна**, младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: anne.gonchar@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-5161-6540

**Gonchar Anna Pavlovna**, Junior scientist, Department of Radiology Quality Development Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: anne.gonchar@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-5161-6540

**Босин Виктор Юрьевич**, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела развития качества радиологии, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: bosin@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0002-4619-2744

**Bosin Viktor Jur'evich**, M. D. Med., Prof., Chief scientist, Department of Radiology Quality Development Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: bosin@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0002-4619-2744

**Владимирский Антон Вячеславович**, доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: a.vladimirsky@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0002-2990-7736

**Vladimirskij Anton Vjacheslavovich**, M. D. Med., Deputy Director for R&D Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0002-2990-7736

**Морозов Сергей Павлович**, доктор медицинских наук, профессор, директор ГБУ здравоохранения г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».  
Адрес: 109029, г. Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36. Электронная почта: morozov@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0001-6545-6170

**Morozov Sergej Pavlovich**, M. D. Med., Prof., Director Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department.  
Address: 28, str. 1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 276-04-36. E-mail: morozov@npcmr.ru  
ORCID: 0000-0001-6545-6170

**Финансирование исследования и конфликт интересов.**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-01-00601.*

*Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*