

УДК 616.62-003.7-073.756.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА И РЕЗУЛЬТАТОВ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МОЧЕВЫХ КАМНЕЙ ПРИ УРОЛИТИАЗЕ

¹Т. Х. Назаров, ¹И. В. Рычков, ²Д. Г. Лебедев, ³К. Е. Трубникова

¹Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
Санкт-Петербург, Россия

²Городская Александровская больница, Санкт-Петербург, Россия

³Консультативно-диагностический центр для детей, Санкт-Петербург, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

Идея применения двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) возникла в раннем развитии компьютерной томографии (КТ). Однако только в последнее время достижения в лучевой диагностике сделали возможным использование ДЭКТ для повседневного клинического применения. В статье описываются характерные особенности двухэнергетических КТ-сканеров, а также результаты обследования 245 пациентов с мочекаменной болезнью, идентификация мочевого камня *in vivo* и последующая сравнительная характеристика с минералогическим исследованием уролитов. Цель работы: оценить возможность применения ДЭКТ в диагностике мочекаменной болезни с определением химического состава мочевого камня *in vivo*. Обследована группа пациентов (n=245) в возрасте от 18 до 84 лет. Всем пациентам с установленным диагнозом мочекаменной болезни выполнялась ДЭКТ (Somatom Definition, Siemens, Forchheim, Germany) с обработкой данных, затем производилась *in vitro* ИК-спектроскопия (спектрометр ИК-Фурье Alpha-P) для установления истинного состава конкремента. После проведения ДЭКТ, а затем ROC-анализа и сопоставлении результатов с данными ИК-спектроскопии установлено, что конкременты средней плотностью менее 500 HU по данным ДЭКТ могут быть отнесены к уратам, при содержании мочевой кислоты более 50% с чувствительностью 91,1% (34 конкремента из 35) и специфичностью 100% — содержание мочевой кислоты определено также и в полиминеральных конкрементах при содержании ее менее 50%. Полученные знания о составе и структуре камня *in vivo* в последующем могут быть использованы в патогенетическом лечении и профилактики осложнений у пациентов с МКБ, а также влиять на выбор тактики удаления уролитов. Полученные результаты дают право применять ДЭКТ в диагностике мочекаменной болезни, а также с высокой чувствительностью идентифицировать уратные камни *in vivo*, тем самым влиять на выбор тактики удаления уролитов и патогенетического лечения, а также профилактики осложнений у больных уролитиазом.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь (уролитиаз), двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ), минералогия, нефролитиаз, химический состав камня.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA FROM A DUAL-ENERGY COMPUTER TOMOGRAPH AND THE RESULTS OF A MINERALOGICAL RESEARCH OF URINARY STONES

¹T. Kh. Nazarov, ¹I. V. Rychkov, ¹D. G. Lebedev, ¹K. E. Trubnikova

¹North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

²Aleksandrovsky City hospital, St. Petersburg, Russia

³Advisory and diagnostic center for children, St. Petersburg, Russia

Introduction. The idea of using dual-energy computed tomography (DECT) originated in the early development of computed tomography (CT). However, only recently, advances in radiation diagnosis have made it possible to use dual-energy CT for routine clinical use. We describes the characteristic features of dual-energy CT scanners, as well as the results of a study of 245 patients with urolithiasis, the identification of urinary stones *in vivo* and the subsequent comparative characteristics with mineralogical studies of uroliths. Purpose. Evaluate the possibility of using DECT in the diagnosis of urolithiasis with the determination of the chemical composition of urinary stones *in vivo*. Materials and methods. A group of patients (n=245) aged 18 to 84 years was examined. All patients with the established diagnosis-urolithiasis-were treated with DECT (Somatom Definition, Siemens, Forchheim, Germany) with data processing, then *in-vitro* infrared spectrometry (IR-Alpha-P spectrometer) to determine the true composition of the calcu-

lus. Results. After conducting the DECT and then ROC analysis and comparing the results with the IR-spectrometry data, it was established that stones with an average density of less than 500 HU according to DECT can be attributed to urate, with a uric acid content of more than 50% with a sensitivity of 91,1% (34 stones of 35) and specificity of 100% — the content of uric acid is also determined in polymineral calculi with a content of less than 50%. The knowledge gained on the composition and structure of the stone *in vivo* can subsequently be used in pathogenetic treatment and prevention of complications in patients with urolithiasis, and influence the choice of the tactics of removing the uroliths. Conclusions. The obtained results give the right to apply DECT in the diagnosis of urolithiasis, and with high sensitivity to identify urate stones *in vivo*, thereby influencing the choice of the tactics of removal of uroliths and pathogenetic treatment, as well as the prevention of complications in patients with urolithiasis.

Key words: urolithiasis, dual-energy computed tomography (DECT), mineralogy, nephrolithiasis, chemical composition of the stone.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-2-54-58>

Введение. Мочекаменная болезнь (МКБ, уролитиаз) сохраняет свою актуальность во всем мире в связи с неуклонным ростом частоты и продолжает оставаться одним из наиболее распространенных урологических заболеваний, встречающимся, по разным данным, у 5–20% популяции [1, 2]. У 70% пациентов МКБ диагностируется в возрасте 30–60 лет, преимущественно у мужчин, соотношение мужчин и женщин составляет 2:3 и 1:3 соответственно. В связи с тем, что уролитиаз поражает людей наиболее трудоспособного возраста и имеется высокая вероятность рецидивов (до 50%), проблема внедрения высокоточных и экономически обоснованных методов диагностики имеет не только медицинскую, а также социальную значимость. Мочевого камень, по сути, является терминальной стадии уролитиаза, в связи с чем в настоящее время изучение состава мочевых камней имеет важное практическое значение в определении этиопатогенетических факторов уролитиаза, а также в выборе литолитической терапии, подбора диетотерапии для предупреждения рецидива [3].

Предметом дискуссии остается выбор терапии уролитиаза, в том числе разрушения и удаления конкрементов. Развитие науки, в первую очередь физики, химии, геологии и др., значительно расширило представления о составе и структуре мочевых камней. Известно несколько классификаций мочевых камней. Самая распространенная основана на химическом составе конкрементов: кальциевые, струвитные (фосфатные), мочекислые (уратные), цистиновые. Среди мочевых камней наиболее часто встречаются оксалаты (вевеллит, веделит), фосфаты (карбонат апатит, апатит, струвит и др.), а также ураты (мочевая кислота и ее соли). Остальные минералы наблюдаются эпизодически.

Внедрение спиральной КТ (СКТ) в конце 1980-х годов позволило преодолеть ряд существенных недостатков и ограничений, что дало мощный толчок дальнейшему развитию метода. В 1984 г. В. Hillman и соавт. высказали предположение о большом потенциале КТ для определения химического состава почечных камней в попытке выбрать оптимальное лечение [4, 5]. В исследовании *in vitro* авторам уда-

лось при помощи КТ дифференцировать конкременты мочевой кислоты, оксалата кальция и струвиты.

Технология сканирования при одновременном использовании двух энергий получила распространение относительно недавно. Первый клинический сканер с двумя источниками (SOMATOM Definition, Siemens AG, Форхейм, Германия) был представлен в 2006 г. [6, 7]. Системы сбора смонтированы в одном устройстве (Petersilka et al., 2008). Каждая система имеет свою собственную трубку, генератор, детектор и устройства управления, в то время как, например, охлаждение и система построения изображения являются общими.

В настоящее время доступны три типа двухэнергетических КТ-сканеров, которые отличаются технической, используемой для получения наборов данных высокой и низкой энергии КТ: двухэнергетический сканер с двумя источниками энергии, одностанционный двухэнергетический сканер с быстрым переключением киловольт (т.е. быстрое чередование между установками высокого и низкого напряжения), а также двухканальный сканер с одним источником с двумя слоями детекторов. ДЭКТ позволяет дифференцировать ткани и материалы с одной электронной плотностью, но отличающиеся по степени абсорбции фотонов. Это позволяет выявить камни, а также характеризовать их химический состав [8–10]. При применении ДЭКТ с высокой чувствительностью возможно дифференцировать уратные и неуратные камни [11, 12].

Цель исследования: оценить возможность применения ДЭКТ в диагностике мочекаменной болезни, а также в определении химического состава мочевых камней *in vivo*.

Материалы и методы. Объектом исследования стали 245 пациентов с уролитиазом — 143 мужчины и 102 женщины в возрасте от 18 до 84 лет (средний возраст 49 лет). Всем пациентам выполнялась ДЭКТ на системе Dual Source CT (Siemens SOMATOM Definition) с автоматическим контролем экспозиции (100 mAs при 80 кВ, 425 mAs при 140 кВ, шаг 0,7) с немедленной обработкой изображения после сканирования. Эти наборы данных были проанализированы с использованием коммерческого программного

обеспечения (Syngo Dual Energy Viewer, Siemens AG), имеющейся в системе КТ. Все конкременты локализовались в ЧЛС почек. Камни удалялись при помощи ДЛТ (105 пациентов) и КЛТ с использованием корзинки Дормия в ЧЛС почки (140 пациентов), для предупреждения повреждения паренхимы почки [13]. После оперативного вмешательства производи-

цистиновый — в 3,3%. Мономинеральный тип уrolита установлен в 87 (35,5%), полиминеральный тип — в 158 (64,4%) случаях (рис. 1).

При проведении ДЭКТ мы обращали внимание на плотность в единицах Хаунсфилда расчетную среднюю плотность (Mixed), при 80 кВ (100 mAs) и при 140 кВ (425 mAs), объем конкремента

Таблица 1

Классификация уrolитов по химическому составу

Тип уrolита	Химический состав уrolита	Итого 245 (100%)
Оксалаты — 165 (67,3%)		
Моно	Вевеллит ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	47 (19,1)
	Ведделлит ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	8 (3,3)
	Итого	55 (22,4)
Поли	Вевеллит + Ведделлит	28 (11,4)
	Вевеллит + Апатит ($3\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$)	27 (11,0)
	Вевеллит + Брушит ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	10 (4,1)
	Апатит + Мочевая кислота	9 (3,7)
	Вевеллит + Ведделлит + Апатит	19 (7,8)
	Вевеллит + Ведделлит + ГА	17 (6,9)
	Итого	110 (44,9)
Фосфаты — 53 (21,6%)		
Моно	Струвит ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	6 (2,4)
	Гидроксилапатит (ГА) ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$)	3 (1,2)
	Итого	9 (3,7)
Поли	Струвит + Гидроксилапатит	7 (2,9)
	Вевеллит + Гидроксилапатит	30 (12,2)
	Вевеллит + Мочевая кислота + ГА	7 (2,9)
	Итого	44 (18)
Ураты — 19 (7,7%)		
Моно	Мочевая кислота б/в ($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$)	15 (6,1)
Поли	Вевеллит + Мочевая кислота	4 (1,6)
Цистиновые — 8 (3,3%)		
Моно	Цистин ($\text{SCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$)	8 (3,3)

лась *in vitro* ИК-спектromетрия (спектрометр ИК-Фурье Alpha-P). Были определены точность (количество камней, их принадлежность к мочекислым камням) и чувствительность (количество камней состоящие из мочевой кислоты классифицируемых как ураты) ДЭКТ в диагностике мочекаменной болезни.

Результаты и их обсуждение. При помощи ДЭКТ был достоверно установлен диагноз МКБ. При этом у 204 (83,2%) пациентов выявлены 1–2 камня, а у остальных 41 (16,8%) более 3 конкрементов. Размеры уrolитов варьировали от 3 мм до 5 см. Выявлены 4 группы камней: оксалаты, фосфаты, ураты и цистины. Также все камни распределены на мономинеральные и полиминеральные и отнесены к той или иной группе по преобладающему химическому компоненту, более 50% содержания в уrolите. Мономинеральный тип камнеобразования встречался у 35,5%, полиминеральные конкременты — у 64,5% пациентов. Распределение конкрементов по минеральному составу продемонстрировано в табл. 1.

Оксалатный тип уrolитиаза выявлен в 67,3% случаев, фосфатный — в 21,6%, уратный — в 7,7%,

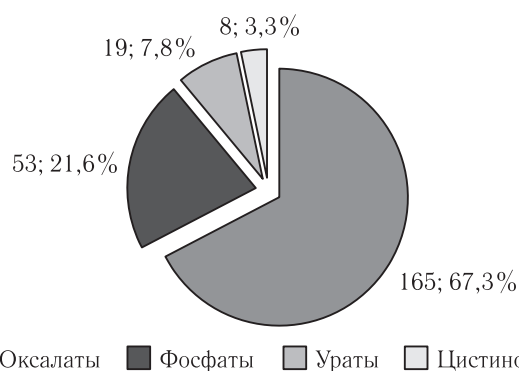


Рис. 1. Классификация уrolитов по типу уrolитиаза

(Volume) и коэффициент отношения 80 кВ / 140 кВ (Ratio) (рис. 2).

Учитывая данные параметры, мы разделили все конкременты на три группы по средней плотности: 1) менее 500 НУ; 2) 500–1000 НУ и 3) более 1000 НУ (табл. 2).

Средний объем конкрементов по данным ДЭКТ составил $79,8 \pm 7,6 \text{ мм}^3$.

Средняя плотность конкрементов, определенных к уратам составила $385,5 \pm 38,4 \text{ НУ}$, остальных

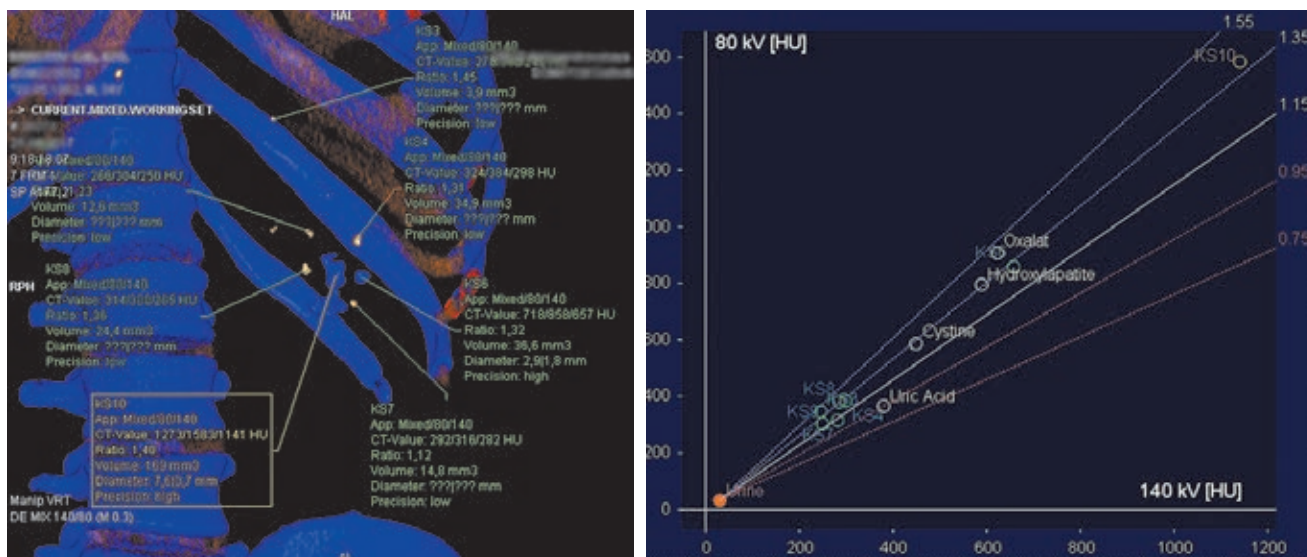


Рис. 2. Пример отображения данных ДЭКТ и ROC-анализа

типов была статистически больше и составила $839,78 \pm 55,9$ HU ($p < 0,05$).

Таблица 2

Распределение конкрементов по шкале Хаунсфилда

Средняя плотность (mix)	Кол-во камней абс., %
1-я группа (менее 500 HU)	34 (13,9%)
2-я группа (500–1000 HU)	157 (64,0%)
3-я группа (более 1000 HU)	54 (22,0%)

После проведения ROC-анализа и сопоставлении результатов с данными ИК-спектроскопии установлено, что конкременты средней плотностью менее 500 HU по данным ДЭКТ могут быть отнесены к уратам, при содержании мочевой кислоты более 50% с чувствительностью 91,1% (34 конкремента из 35) и специфичностью 100% — содержание мочевой кислоты определено также и в полиминеральных конкрементах при содержании ее менее 50%.

Обычно камни мочевой кислоты состоят только из легких химических элементов (H, C, N, O), их рентгенологические свойства ослабления рентгеновского излучения при высоких и низких кВ сильно отличаются по сравнению с конкрементами других типов (не мочевой кислоты), таких как оксалат кальция, гидроксиапатита кальция, цистина, в состав которых входят тяжелые элементы (P, Ca, S). Следовательно, камни мочевой кислоты имеют более высокие единицы Хаунсфилда при высоком напряжении рентгеновской трубки, чем при низком, в то время как камни не мочевой кислоты, напротив, имеют более высокие числа HU при меньшем напряжении, чем при высоком. Полученные нами данные подтверждают результаты исследования авторитетных авторов. Так, A. Primak считает, что при помощи двухэнергетической КТ ураты можно отличить от конкрементов другого состава *in vivo*

с вероятностью не менее 93%. Эту вероятность можно увеличить до 100% при помощи использования специальных фильтров и использования напряжений при 135 и 80 кВ [14]. А недавние исследования S. Achaaya также показали, что двухэнергетическая КТ позволяет эффективно дифференцировать *in vivo* различные типы кальциевых камней, в том числе устойчивые к литотрипсии конкременты моногидрата оксалата кальция [15].

Полученные знания о составе и структуре камня *in vivo* в последующем могут быть использованы в патогенетическом лечении и профилактике осложнений у пациентов с МКБ, а также влиять на выбор тактики удаления уролитов. Следует заметить, что в настоящее время в большинстве клиник лечение уролитиаза проводится без анализа минерального состава мочевых камней. Визуальная оценка конкремента редко совпадает с его химическим составом. Ошибки при определении состава камня приводят к неправильному назначению патогенетической терапии с последующим негативным влиянием на течение заболевания, в связи с чем результаты проведенного исследования имеют важное научно-практическое значение.

Выводы. Таким образом, исходя из результатов исследования можно сделать вывод, что ДЭКТ является высокочувствительным и специфичным методом обследования в отношении идентификации мочекислых конкрементов *in vivo*. В диагностике уролитиаза ДЭКТ позволяет решить следующие задачи:

- 1) выявить уролиты и определить локализацию в мочевых путях;
- 2) оценить их размер, форму и относительную плотность по шкале Хаунсфилда при разных напряжениях рентгеновской трубки (140 кВ и 80 кВ);
- 3) предопределить химический состав мочевых камней.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Комьяков Б.К., Батько А.Б., Дьячук Г.И. *Антагонисты кальция в лечении больших мочекаменной болезнью*. СПб.: ТАРО, 2014. 120 с. [Komuyakov B.K., Bat'ko A.B., D'yachuk G.I. *Antagonisty kal'ciya v lechenii Bol'nyh mochekamennoy bolezni*. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo TARO, 2014. 120 p. (In Russ.)].
2. Назаров Т.Х. *Современные аспекты патогенеза, диагностики и лечения мочекаменной болезни*: дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2009. 370 с. [Nazarov T.H. *Sovremennye aspekty patogeneza, diagnostiki i lecheniya mochekamennoy bolezni*: dis. ... d-ra med. nauk. Saint-Petersburg, 2009. 370 p. (In Russ.)].
3. Ngo T.C., Assimos D.G. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions // *Rev. Urol.* 2007. Vol. 9. P. 17–27.
4. Hillman B.J. et al. Computed tomographic analysis of renal calculi // *Am. J. Roentgenol.* 1984. Vol. 142 (3). P. 549–552.
5. Andrabi Y., Patino M., Das C.J., Eisner B., Sahani D.V., Kambadakone A. Advances in CT imaging for urolithiasis // *Indian J. Urol.* 2015. Vol. 31. P. 185–193.
6. Johnson T.R., Krauss B., Sedlmair M. et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience // *Eur. Radiol.* 2007. Vol. 17 (6). P. 1510–1517.
7. Graser A., Johnson T.R., Chandarana H., Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen // *Eur. Radiol.* 2009. Vol. 19 (1). P. 13–23.
8. Kim S.C. et al. Cystine calculi: correlation of CT-visible structure, CT number, and stone morphology with fragmentation by shock wave lithotripsy // *Urol Res.* 2007. Vol. 35. P. 319.
9. Zarse C.A. et al. CT visible internal stone structure, but not Hounsfield unit value, of calcium oxalate monohydrate (COM) calculi predicts lithotripsy fragility *in vitro* // *Urol Res.* 2007. Vol. 35. P. 201.
10. Мартов А.Г., Мазуренко Д.А., Климова М.М., Синицын В.Е., Нерсисян Л.А., Гаджиев Н.К. Двухэнергетическая компьютерная томография в диагностике мочекаменной болезни: новый метод определения химического состава мочевых камней // *Урология*. 2017. № 3. С. 98–103. [Martov A.G., Mazurenko D.A., Klimkova M.M., Sinicyн V.E., Nersisyan L.A., Gadzhiev N.K. Dvuhenergeticheskaya komp'yuternaya tomografiya v diagnostike mochekamennoy bolezni: novyy metod opredeleniya himicheskogo sostava mochevyyh kamnej. *Urologiya*, 2017, No. 3, pp. 98–103. (In Russ.)].
11. Hidas G., Eliahou R., Duvdevani M. et al. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: *in vivo* analysis and comparison with x-ray diffraction // *Radiology*. 2010. Vol. 257. P. 394–401.
12. Spek A., Strittmatter F., Graser A., Kufer P., Stief C., Staehler M. Dual energy can accurately differentiate uric acid-containing urinary calculi from calcium stones // *World J. Urol.* 2016. Vol. 34 (9). P. 1297–1302.
13. Назаров Т.Х., Рычков И.В., Агагюлов М.У. Оценка функционального состояния почек до и после проведения литотрипсии при мочевых камнях высокой плотности // *Урологические Ведомости*. 2017. Т. 7. С. 76–78. [Nazarov T.H., Rychkov I.V., Agagyulov M.U. Ocenka funktsional'nogo sostoyaniya pochek do i posle provedeniya litotripsii pri mochevyyh kamnyah vysokoy plotnosti. I, 2017, Vol. 7, pp. 76–78 (In Russ.)].
14. Primak A.N. et al. Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT // *Acad. Radiol.* 2007. Vol. 14 (12) P. 1441–1447.
15. Acharya S. et al. In vivo characterization of urinary calculi on dual-energy CT: going a step ahead with sub-differentiation of calcium stones. // *Acta Radiol.* 2015. Vol. 56 (7). P. 881–889. doi: 10.1177/0284185114538251. Epub 2014 Jun 17.

Поступила в редакцию: 03.11.2017 г.

Контакт: Назаров Тоирхон Хакназарович, tair-nazarov@yandex.ru

Сведения об авторах:

Назаров Тоирхон Хакназарович — доктор медицинских наук, доцент кафедры урологии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» МЗ РФ; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: tair-nazarov@yandex.ru;
 Рычков Иван Вячеславович — очный аспирант кафедры урологии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» МЗ РФ; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: rychkov.iv@gmail.com;
 Лебедев Дмитрий Геннадьевич — заведующий отделением дистанционной литотрипсии СПб ГБУЗ «Александровская больница»; 193312, Санкт-Петербург, пр. Солидарности, д. 4; e-mail: lebedo-di@yandex.ru;
 Трубникова Ксения Евгеньевна — кандидат медицинских наук, врач лучевой диагностики Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Консультативно-диагностический центр для детей»; 192289, Санкт-Петербург, ул. Олеко Дундича, д. 36, корп 2.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2018 года.

Подписные индексы:

Агентство «Роспечать» 57991

ООО «Агентство „Книга-Сервис”» 42177