

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ

Капанадзе А.Б.<sup>1</sup>, Серова Н.С.<sup>1</sup>, Руденко В.И.<sup>1</sup>, Кузьмичева Г.М.<sup>2</sup>  
Александрова К.А.<sup>1</sup>, Новиков И.А.<sup>1</sup>

**Цель исследования.** Улучшить диагностику мочекаменной болезни (МКБ) с использованием новейшей методики – двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ).

**Материалы и методы.** В Сеченовском Университете на кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета совместно с кафедрой урологии на базе Российско-Японского центра было проведено проспективное исследование группы из 91 (100%) пациента. Всем пациентам на этапе лучевого обследования выполнялась двухэнергетическая компьютерная томография для прогнозирования химического состава мочевых камней «in vivo». В дальнейшем всем пациентам выполнялось оперативное лечение: дистанционная литотрипсия (ДЛТ), чрескожная нефролитотрипсия (ЧНЛТ), контактная уретеролитотрипсия (КУЛТ). Полученные конкременты подвергались физико-химическому анализу (рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия) с целью верификации состава. В дальнейшем проводилась оценка диагностической ценности двухэнергетической компьютерной томографии путем сопоставления результатов с данными физико-химического анализа.

**Результаты.** В предоперационном периоде при помощи ДЭКТ были получены следующие результаты: 40 пациентов имели камни, в составе которых преобладал вевеллит, у 34-х пациентов отмечались Са-содержащие камни без вевеллита, у 10 пациентов диагностированы камни из мочевой кислоты, у 7 пациентов камни были классифицированы в группу цистиновых/струвитных. После проведения верификационных исследований в послеоперационном периоде был определен следующий состав мочевых камней: 42 камня – вевеллит, 34 камня – Са-содержащие камни без вевеллита, 10 камней из мочевой кислоты, 5 камней – струвитные камни. При этом неверно по данным ДЭКТ были определены: 7 камней в составе которых преобладал вевеллит: 4 камня были отнесены в группу Са-содержащих камней без вевеллита, 3 камня – в группу струвитных/цистиновых камней; 4 Са-содержащих камня без вевеллита были отнесены в группу вевеллита; 2 струвитных камня: 1 камень был неверно отнесен в группу солей мочевой кислоты, 1 камень – в группу вевеллита; 1 камень, имевших в составе соли мочевой кислоты был неверно отнесен в группу струвитных камней. Стоит также отметить, что 1 камень имел смешанный состав (соли мочевой кислоты 70% + вевеллит 23% + вевеллит 7%), по результатам ДЭКТ был отнесен в группу камней из мочевой кислоты, при этом преобладающий компонент был определен верно.

**Выводы.** Применение ДЭКТ в предоперационном периоде с целью прогнозирования химического состава камня «in vivo» с высокой долей достоверности может дифференцировать не только уратные и Са-содержащие камни, но и отдельно выявлять камни в составе которых преобладает вевеллит. Более тонкая дифференцировка Са-содержащих камней, а также более редких видов, таких как струвитные и цистиновые, требует дальнейших исследований с более значимыми выборками.

**Ключевые слова:** мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ), мочекаменная болезнь (МКБ), уролитиаз, мочевые камни, физико-химический анализ.

Контактный автор: Капанадзе А.Б., e-mail: [Lidakap@rambler.ru](mailto:Lidakap@rambler.ru)

*Для цитирования:* Капанадзе А.Б., Серова Н.С., Руденко В.И., Кузьмичева Г.М., Александрова К.А., Новиков И.А. Результаты применения двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни. REJR 2018; 8(2):94-104. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-2-94-104.

Статья получена: 12.02.2018      Статья принята: 16.03.2018

## RESULTS OF APPLICATION OF DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF UROLITHIASIS

Kapanadze L.B.<sup>1</sup>, Serova N.S.<sup>1</sup>, Rudenko V.I.<sup>1</sup>, Kuzmicheva G.M.<sup>2</sup>  
Aleksandrova K.A.<sup>1</sup>, Novikov I.A.<sup>1</sup>

**Purpose.** To improve the diagnosis of urolithiasis using the latest technique – dual-energy computed tomography (DECT).

**Materials and methods.** A prospective study of a group of 91 (100%) patients was conducted at the department of radiology and urology at the Russian-Japanese Center in Sechenov University. All patients underwent a dual-energy CT scan to predict the chemical composition of urinary stones "in vivo". All patients underwent surgical treatment after diagnostics: distance lithotripsy (DLT), percutaneous nephrolithotripsy (PHNLТ), contact ureterolithotripsy (CULT). All the stones after operations were subjected to physico-chemical analysis (X-ray phase analysis, infrared spectroscopy) in order to verify the composition. Further, the diagnostic value of the dual-energy computed tomography was assessed by comparing the DECT results with the physico-chemical analysis data.

**Results.** Using DECT in the preoperative period, the following results were obtained: 40 patients had vevellit stones, 34 patients had Ca-containing stones without vevellit, 10 patients had stones with uric acid, in 7 patients stones were classified in the group of cystine/struvite. After verification studies in the postoperative period, the following urinary stone composition was determined: 42 stones – vevellit, 34 stones – Ca-containing stones without vevellit, 10 stones with uric acid, 5 stones – struvite stones. At the same time the following results were obtained incorrectly using DECT: 7 stones with vevellit from which 4 stones were postoperatively confirmed to the group of Ca-containing stones without vevellit, 3 stones – struvite/cystine stones; 4 Ca-containing stones without vevellite were classified in the group of the vevellite; 2 struvite stones: 1 stone was incorrectly assigned to the group of uric acid, 1 stone – to the group of the vevellite; 1 stone uric acid was incorrectly assigned to the group of struvite stones. It should also be noted that 1 stone had a mixed composition (uric acid 70% + vevellit 23% + veddellite 7%), according to the results of DECT it was incorrectly assigned to the group of stones from uric acid, at the same time the prevailing component was determined correctly.

**Conclusions.** In order to predict the chemical composition of the stone "in vivo" with a high degree of reliability DECT in the preoperative period can differentiate not only the urate and Ca-containing stones, but also separately identify the stones in which vevellit is the predominant component. The detailed differentiation of Ca-containing stones, as well as of more rare stones, such as struvite and cystine, requires further studies with more significant groups of stones.

Keywords: multispiral computed tomography (MSCT), dual-energy computed tomography (DECT), urolithiasis, urinary stones, physico-chemical analysis.

Corresponding author: Kapanadze L.B. e-mail: [Lidakap@rambler.ru](mailto:Lidakap@rambler.ru)

*For citation: Kapanadze L.B., Serova N.S., Rudenko V.I., Kuzmicheva G.M., Aleksandrova K.A., Novikov I.A. Results of application of dual-energy computed tomography in the diagnosis of urolithiasis. REJR 2018; 8(2):94-104. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-2-94-104.*

Received: 12.02.2018 Accepted: 16.03.2018

**М**очекаменная болезнь (МКБ) – одно из самых распространенных заболеваний, которым страдают около 3% населения планеты. В течение последних десятилетий отмечается рост заболеваемости мочекаменной болезнью как у мужчин, так и у женщин. В России доля МКБ среди всех урологических заболеваний составляет

32,4%. МКБ стала одной из главных проблем здравоохранения, поскольку многим пациентам необходимо стационарное лечение. Так, например, в России 30-40% мест в урологических отделениях приходится на больных МКБ. Выбор тактики лечения МКБ: цитратный литолиз, дистанционная литотрипсия (ДЛТ), чрескожная нефролитотомия (ЧНЛТ), контактная уретероли-

1 - I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

(Sechenov University).

2 - MIREA - Russian Technological University Moscow, Russia

тотрипсия (КУЛТ) или динамическое наблюдение, - определяется в зависимости от локализации, размера, плотности и состава камня. К сожалению, почти у 50% этих пациентов отмечаются клинические рецидивы МКБ по крайней мере один раз в их жизни [12, 5]. Поэтому, с учетом актуальности данного заболевания, разработка новых методов диагностики, лечения и профилактики (метафилактики) приобретает огромную социальную значимость. Данные о физико-химическом составе мочевых камней представляют важную информацию о метаболизме и имеют высокую значимость в выборе профилактических мер, консервативной терапии, а также в прогнозировании результатов оперативного лечения [1, 30]. К примеру, установлено, что фрагментация цистиновых камней, фосфата кальция и вевеллита при дистанционной литотрипсии вызывает определенные сложности и сопровождается образованием относительно больших фрагментов, по сравнению с ДЛТ камней других составов (струвит, дигидрат оксалата кальция и т.д.) [11, 32, 35, 36, 42]. В настоящее время в урологическую практику активно внедряется новая методика МСКТ – двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ). В основе лежит использование источников, способных генерировать излучение на разных уровнях энергии, и датчиков, способных дифференцировать это излучение. С учетом данных, получаемых при помощи ДЭКТ, возможно оценить характеристики камней на основе не только плотности, но также элементарного состава и энергии поглощаемого пучка фотонов. Указанная методика впервые была описана в 1970-х, но с учетом технического несовершенства старых томографов, широкое применение в повседневной клинической практике началось лишь с 2006 г. [18, 7, 23, 19, 14, 15]. В работе врача-уролога ДЭКТ используется для определения физико-химического состава мочевых конкрементов с целью последующего планирования тактики лечения [2, 3]. В процессе ДЭКТ происходит получение определенных данных, на основе которых выполняется оценка состава камней:

1) Двухэнергетический индекс (ДЭИ) =  $(X \text{ низкий кэВ} - X \text{ высокий кэВ}) / (X \text{ низкий кэВ} + X \text{ высокий кэВ} + 2000)$ , где X низкий кэВ – плотность материала в НУ при низком уровне энергии, X высокий кэВ – плотность при высоком уровне энергии [31].

2) Двухэнергетическое отношение (ДЭО) =  $(\text{плотность материала на низкоэнергетическом изображении} / \text{плотность на высокоэнергетическом изображении})$  [33].

3) Двухэнергетическая разность (ДЭР) =  $(\text{плотность материала на низкоэнергетическом изображении} - \text{плотность на высокоэнергетическом изображении})$  [24].

4) Z eff – эффективное атомное число абсорбирующего материала.

На основании имеющейся литературы можно с уверенностью утверждать, что ДЭКТ крайне эффективна в дифференцировке камней мочевой кислоты и Са-содержащих камней [39, 41]. Однако на настоящий момент отмечается недостаточность информации для более подробной характеристики состава Са-содержащих камней и выявления редких видов – цистиновых и струвитных – на основании показателей, получаемых при помощи ДЭКТ.

Наиболее часто применяемыми показателями для классификации камней при ДЭКТ являются ДЭО и Z eff. К примеру, в исследованиях Matlaga B. (2008), Hidas G. (2010), Thomas C. (2010) ДЭО для камней из мочевой кислоты составил 1,04-1,09, менее 1,1, 0,88-1,18, соответственно. Также в этих работах Hidas G. и Thomas C. отмечают ДЭО для цистиновых камней 1,1-1,24 и 1,27-1,39, соответственно, а ДЭО для Са-содержащих – более 1,24 и 1,42-1,57, соответственно. Acharya S. и соавт. (2015) продемонстрировали, что ДЭО=1,385 для выявления вевеллита имел чувствительность 65,6% и специфичность 82%, а значение <1,335 у Са-содержащих камней было характерно только для вевеллита [6, 17, 24, 40]. Kulkarni N. M. и соавт. (2013) в своем исследовании показали, что Z eff от 6,2 до 7,8 характерен для камней из мочевой кислоты, Z eff от 11,2 до 14,4 – для вевеллита, Z eff 9,2-10,0 – для струвитных камней, а Z eff 10,2-11,8 для цистиновых [21].

Основной задачей ДЭКТ в урологической практике является оценка состава мочевых камней для адекватного выбора лечебной тактики. Отмечается недостаток работ, оценивающие прямое влияние ДЭКТ на исход лечения. Так, Ferrero A. (2016) и Largo R. (2016) было продемонстрировано, что данные ДЭКТ (ДЭО, ДЭИ), а также объем, ровность поверхности и плотность камня являлись основными прогностическими признаками успешной ДЛТ. A Nabashy D. и соавт. (2016) впервые показали ценность ДЭКТ в отборе пациентов для консервативной терапии [13, 16, 22].

#### Материалы и методы.

На кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии совместно с кафедрой урологии Сеченовского Университета на базе Российско-японского центра за период с ноября 2016 г. по апрель 2018 г. проведено проспективное исследование группы из 91 пациента (100%). Возраст пациентов составлял от 20 до 70 лет (средний возраст 42,7 лет). Отмечалось преобладание лиц мужского пола (68 мужчин, 23 женщины). Критериями включения в группу являлись: камень почки и мочевых путей, возраст старше 18 лет, отсутствие беременности, размер камня равный или более 5 мм.

В предоперационном периоде всем пациентам (n=91, 100%) выполнялась мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), с последующим проведением одноисточниковой двухэнергетической компьютерной томографии на томографе Toshiba Aquilion One 640 (Япония), с быстрым переключением между высоким и низким уровнем энергии во время сканирования. Параметры сканирования: параметр энергии трубки в стандартном режиме – 120 кэВ, при ДЭКТ – 80 кэВ/135 кэВ., режим спиральный/объемный, сила тока - 50 мА/290 мА, толщина среза 0,5 см.

В описании был использован расширенный протокол, включающий в себя следующие пункты:

- локализация конкремента;
- размер, объем;
- плотность (при 120 кэВ, 80 кэВ и 135 кэВ) конкремента;
- оценка специфических показателей ДЭКТ: ДЭО, ДЭИ, ДЭР, Z eff;
- зональная структура конкремента (измерение плотности в центре и по периферии);
- прогнозирование химического состава конкремента;
- оценка анатомо-функционального состояния почек и мочевых путей.

Для камней менее 2 см выполнялось одно измерение плотности путем постановки окружности измерения диаметром в зависимости от размера камня от 1 до 5 мм (region of interest, ROI) таким образом, чтобы окружность охватывала не менее половины площади камня. Для камней более 2 см, в т.ч. коралловидных камней выполнялось два измерения плотности, с последующим вычислением среднего показателя плотности (рис. 1, 2).

Все камни по результатам двухэнергетической компьютерной томографии были классифицированы на четыре группы:

- 1) Вевеллит;
- 2) Са-содержащие камни без вевеллита;
- 3) Мочевая кислота;
- 4) Цистиновые/струвитные камни.

Следует отметить, что преобладающим компонент считался в том случае, если его доля в образце составляла 75% и более. Анализ снимков производился до известного физико-химического исследования камней. Прогностическая оценка состава при ДЭКТ и отнесение образца в вышеупомянутые группы производилась путем сопоставления полученных показателей ДЭО с известными данными изученной литературы (табл. 1).

Все пациенты подвергались оперативному лечению в оптимальном объеме: дистанционной литотрипсии, контактной уретеролитотрипсии или чрескожной нефролитотрипсии. Верификация состава полученных при операции или в

результате отхождения в послеоперационном периоде камней производилась при помощи инфракрасной спектроскопии и рентгенофазового анализа. Данные ДЭКТ сравнивались с данными верификационных исследований полученных образцов.

#### Результаты.

Средний размер камня составил 19,3 мм (от 5,2 до 82,3 мм). По локализации камни распределялись следующим образом: 15 камней верхней и средней групп чашечек, 22 камня лоханки, 6 коралловидных камня, 14 камней лоханочно-мочеточникового сегмента, 7 камней верхней трети мочеточника, 3 камня средней трети мочеточника и 24 камня нижней трети мочеточника.

На этапе прогнозирования химического состава по результатам двухэнергетической компьютерной томографии были получены следующие результаты (табл. 2).

Из 91 оперативного вмешательства, было выполнено 66 (72,53%) ДЛТ, 16 (17,58%) – ЧНЛТ и 9 (9,89%) КУЛТ.

Все камни или фрагменты камней после оперативного лечения по данным физико-химического состава (рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии) были определены в следующие группы (табл. 3).

Как видно из таблицы, в исследуемой выборке преобладают Са-содержащие конкременты (n=76, 83,52%), при этом основным компонентом (более 75%) у большинства образцов (n=42, 55,26% среди Са-содержащих камней, 46,15% от общего числа образцов) в указанной группе является вевеллит. На долю струвитных конкрементов приходится 5,5% (n=5) от общего числа образцов. А на долю камней с преобладанием мочевой кислоты – 11% (n=10).

Сравнение групп по результатам двухэнергетической компьютерной томографии и физико-химического состава представлены на диаграммах (рис. 3).

Таким образом, мы получили следующие результаты: по данным ДЭКТ были неверно определены:

- 7 камней с содержанием вевеллита: 4 образца были отнесены в группу Са-содержащих камней без вевеллита (№ 2), еще 3 образца – в группу струвитных/цистиновых камней (№ 4);
- 4 Са-содержащих камня без вевеллита были отнесены в группу вевеллита (№ 1);
- 2 струвитных камня: 1 образец был неверно отнесен в группу мочевой кислоты (№3), 1 камень – в группу вевеллита (№ 1);
- 1 камень, имевший в составе соли мочевой кислоты был неверно отнесен в группу струвитных камней (№ 4). Стоит также отметить, что 1 камень имел смешанный состав – соли мочевой кислоты 70% + вевеллит 23% + вевеллит 7%, по результатам ДЭКТ был отнесен в группу камней

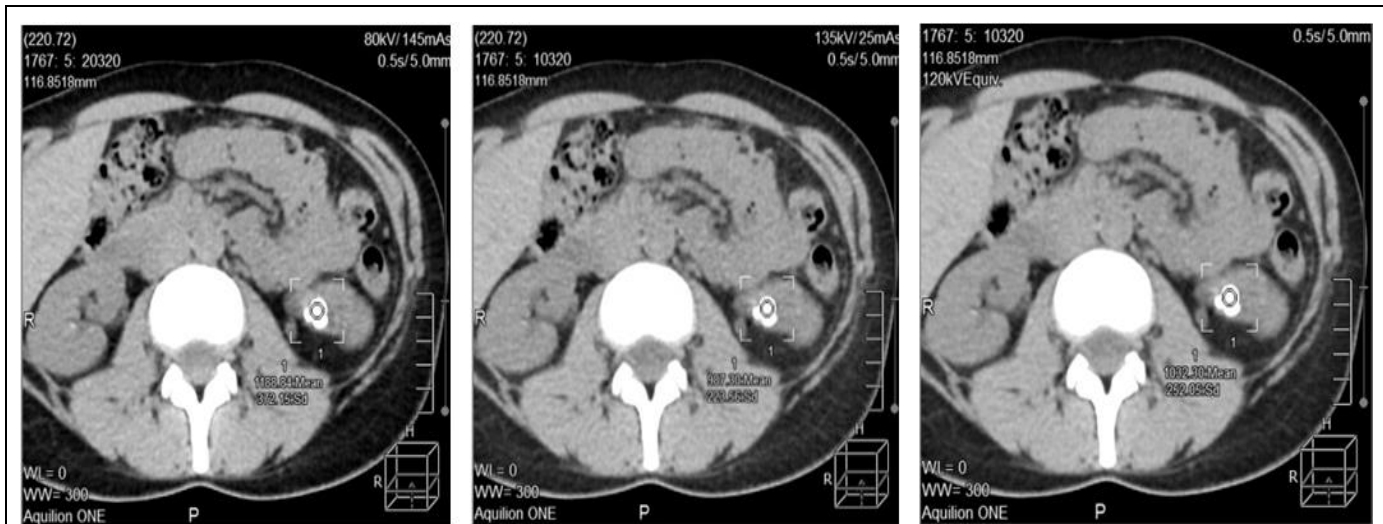


Рис. 1 (Fig. 1)

**Рис. 1. ДЭКТ, аксиальные реконструкции.**

Пример измерения плотности на изображениях при 80 kV, 135 kV, 120 kV, с последующим определением специфических показателей (ДЭО, ДЭИ, ДЭР).

**Fig. 1. DECT, axial reconstruction.**

Density measurement in images at 80 kV, 135 kV, 120 kV, followed by the determination of specific indicators (DEO, DEI, DER).

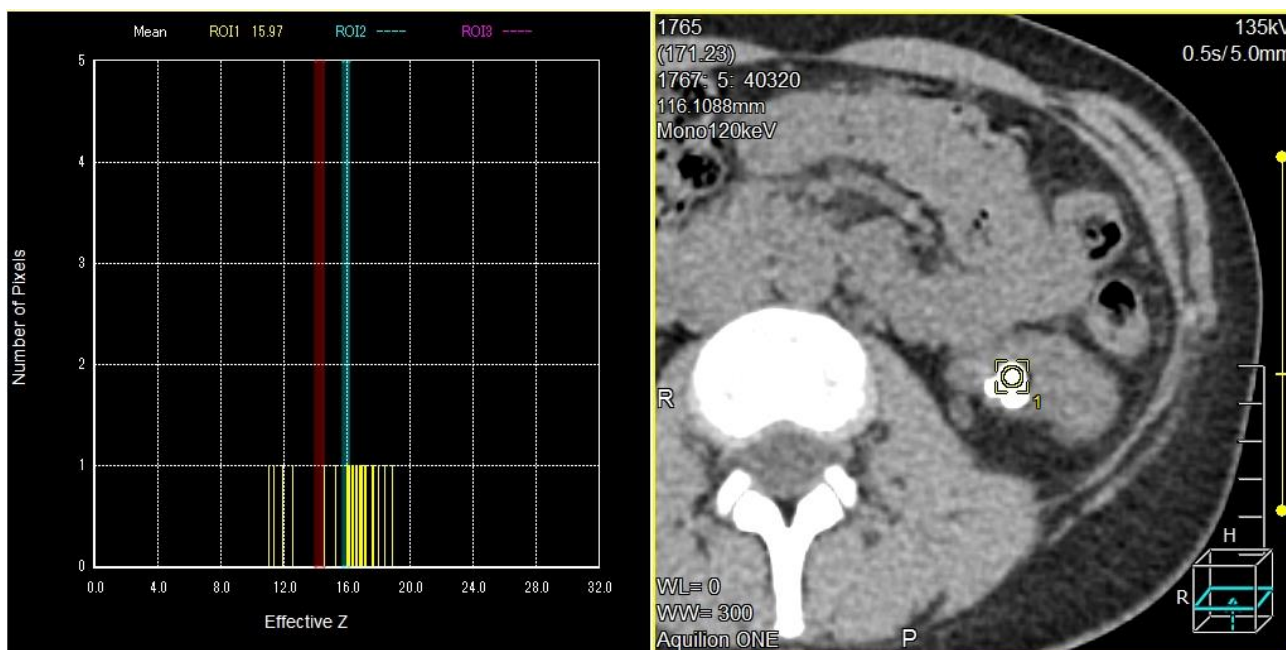


Рис. 2 (Fig. 2)

**Рис. 2. ДЭКТ, пример определения специфического показателя – effective Z.**

**Fig. 2. DECT. Determining a specific indicator – effective Z.**

**Таблица № 1. Пороговые значения ДЭО при классификации камней по данным ДЭКТ в предоперационном периоде [6, 17, 24, 40].**

Состав камней		ДЭО
1.	Вевеллит	1,33 – 1,41
2.	Са-содержащие камни без вевеллита	Более 1,41
3.	Мочевая кислота	Менее 1,22
4.	Струвитные/цистиновые	1,22 – 1,329

**Таблица № 2. Предоперационный прогноз химического состава камней по данным ДЭКТ.**

Состав камней	Число пациентов
1. Вевеллит	40 (43,96%)
2. Са-содержащие камни без вевеллита	34 (37,36%)
3. Мочевая кислота	10 (10,99%)
4. Струвитные/цистиновые	7 (7,69%)

**Таблица № 3. Результаты физико-химического состава камней или их фрагментов.**

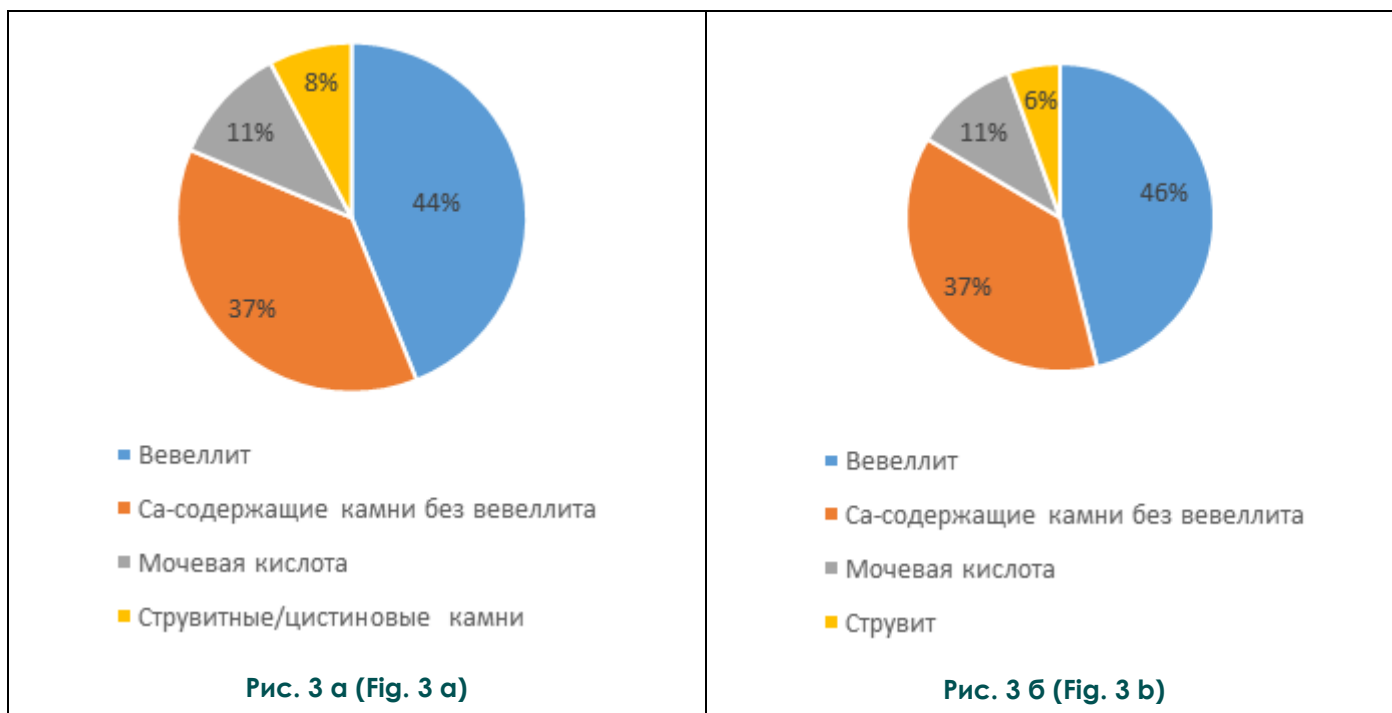
Состав камней	Число образцов
1. Вевеллит	42 (46,15 %)
2. Са-содержащие камни без вевеллита	34 (37,36 %)
3. Мочевая кислота	10 (10,99%)
4. Струвитные камни	5 (5,5%)

**Таблица № 4. Среднее значения плотности на 80 кэВ, 135 кэВ и 120 кэВ для Са-содержащих камней.**

Тип камня	Число образцов	Средняя плотность (НУ) при 80 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 135 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 120 кэВ
Вевеллит	42	1476,2	1079,1	1188,1
Са-содержащие камни без вевеллита	34	1585,7	1068,4	1197,2

**Таблица № 5. Среднее значения плотности на 80 кэВ, 135 кэВ и 120 кэВ для солей мочевой кислоты и струвитных камней.**

Тип камня	Число образцов	Средняя плотность (НУ) при 80 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 135 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 120 эВ
Мочевая кислота	10	401,4	376,1	384
Струвит	5	931,2	743,3	801



**Рис. 3. Диаграммы.**

Сравнение доли разных видов камней среди пациентов по результатам ДЭКТ в предоперационном периоде (а) и по результатам физико-химического состава (б).

**Fig. 3. Diagrams.**

Comparison of the percentage of different types of stones among patients by the results of DECT in the preoperative period (a) and by the results of the physico-chemical analysis (b).

из мочевой кислоты. При этом доминантный компонент был определен верно.

С учетом данных из таблиц 4 и 5, следует отметить соответствие плотности конкрементов при стандартной МСКТ (120 кэВ) и их составом, продемонстрированное ранее другими исследователями [1, 4, 10, 25-29, 26-33, 8, 37, 38]. Плотности камней при 80 кэВ и при 135 кэВ имеют особое значение в контексте их комплексной оценки, которая выражается в специфических данных и является сутью применения метода ДЭКТ в диагностике МКБ. Эта разность плотностей на высоком и низком уровне энергии отражает процесс фотоэлектрического поглощения – главного фотонного взаимодействия рентгеновских лучей в веществах с высоким атомным числом. Таким образом, появляется возможность дифференцировать элементы с выраженной разницей в показателях  $Z_{eff}$  по их спектральным свойствам. В то время как при стандартной МСКТ (120 кэВ) дифференцировка материалов с разным элементарным составом может быть затруднительной в виду возможной схожести показателей их плотностей [9, 20, 34].

Полученные при ДЭКТ специфические показатели – ДЭО, ДЭИ, ДЭР и  $Z_{eff}$  - представ-

лены в таблицах 6, 7. С учетом приведенных данных следует отметить значительное перекрытие интервалов ДЭИ, ДЭР и  $Z_{eff}$  у Са-содержащих камней (группы № 1 и № 2), что затрудняет адекватную статистическую оценку их значимости в тонкой дифференцировке по составу внутри указанных групп. Дополнительные сложности связаны с относительно малыми выборками этих групп. В то время как данные показатели у солей мочевой кислоты и струвитных камней (группы № 3 и № 4) значительно отличаются от таковых у кальцийсодержащих. Однако, между группами №3 и №4 данные показатели имеют выраженное пересечение, что, аналогично с ситуацией с группами Са-содержащих камней, затрудняет их взаимную дифференцировку.

Главный специфический показатель – ДЭО, на основе пороговых значений которого производилось прогнозирование состава, демонстрирует весьма успешные результаты при статистической оценке (табл. 8).

Следует отметить, что дифференцировка Са-содержащих камней и камней мочевой кислоты по результатам ДЭКТ достаточно освещена в литературе, кроме того данная группа камней в нашем исследовании представлена значимой выборкой [39, 41]. А результаты по группе №4

**Таблица №6. Среднее значения ДЭО, ДЭИ, ДЭР и Z eff для Са-содержащих камней.**

Состав камня	Число образцов	Среднее ДЭО	Средний ДЭИ	Средняя ДЭР	Среднее Z eff
Вевеллит	42	1,369	0,087	397,6	12,3
Са-содержащие камни без вевеллита	34	1,489	0,111	517,4	13,8

**Таблица №7. Среднее значения ДЭО, ДЭИ, ДЭР и Z eff для уратных и струвитных камней.**

Состав камня	Число образцов	Среднее ДЭО	Средний ДЭИ	Средняя ДЭР	Среднее Z eff
Мочевая кислота	10	1,09	0,009	25,3	7,71
Струвит	5	1,25	0,051	187,9	9,68

**Таблица №8. Чувствительность и специфичность ДЭКТ в отношении прогноза химического состава камней на основании показателя ДЭО.**

Состав камня	Чувствительность	Специфичность
Вевеллит	83,33%	89,8%
Са-содержащие камни без вевеллита	87,88%	93,1%
Мочевая кислота	90%	98,77%
Струвит	60%	93,33%

(струвитные камни) не достаточно широко освещены в научных публикациях и в данном исследовании представлены меньшей выборкой, что определяет необходимость дальнейшего изучения данного направления.

**Заключение.**

Таким образом, применение ДЭКТ в предоперационном периоде с целью прогнозирования химического состава камня «in vivo» с высокой долей достоверности может дифференцировать не только уратные и Са-содержащие камни, но и отдельно выявлять образцы, в со-

ставе которых преобладает вевеллит. Более тонкая дифференцировка Са-содержащих камней, а также более редких составов, таких как струвитные и цистиновые камни, требует дальнейших исследований с более значимыми выборками.

**Источник финансирования и конфликт интересов.**

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

**Список литературы:**

1. Аляев Ю.Г., Руденко В.И., Газимиев М.-С.А. Мочекаменная болезнь. Актуальные вопросы диагностики и выбора метода лечения. «Триада», Москва, 2006. С. 10-16.
2. Капанадзе Л.Б., Серова Н.С., Руденко В.И. Аспекты применения двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2017. Т. 7. № 3. С. 165-173.
3. Капанадзе Л.Б., Терновой С.К., Руденко В.И., Серова Н.С. Клиническое значение в диагностике и лечении мочекаменной болезни. Урология. 2018. № 1. С. 143-149.
4. Кузьменко В.В., Кузьменко А.В., Остащенко С.А., Безрядин Н.Н. Оценка результатов ДЛТ по данным компьютерной томографии. Материалы Пленума правления Российского общества урологов (Сочи, 28-30 апреля 2003). М., 2003, стр.185-186
5. Лопаткин Н.А., Дзеранов Н.К. 15-летний опыт применения ДЛТ в лечении МКБ. Материалы Пленума правления Российского общества урологов (Сочи, 28-30 апреля 2003). М., 2003, стр.5-25
6. Acharya S., Goyal A., Bhalla A.S., Sharma R., Seth A., Gupta A.K. In vivo characterization of urinary calculi on dual-energy CT: going a step ahead with sub-differentiation of calcium stones. Acta Radiol. 2015; 56 (7): 881-9.
7. Alvarez R.E., Macovski A. Energy-selective reconstructions in x-ray computerized tomography. Phys Med Biol. 1976; 21 (5): 733-744.
8. Bellin M.F., Renard-Penna R., Conort P., et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. Eur Radiol. 2004; 14: 2134-40.
9. Curry T.S. III, Dowdey J.E., Murry R.C. Christensen's physics



of diagnostic radiology. 4th ed. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger. 1990; 61–69.

10. Deveci S., Coskun M., Tekin M.I., et al. Spiral computed tomography: role in determination of chemical compositions of pure and mixed urinary stones - an in vitro study. *Urology*. 2004; 64: 237–40.

11. Dretler S.P. Stone fragility-a new therapeutic distinction. *J Urol*. 1988; 139: 1124–7.0

12. Ferraro PM, Robertson WG, Johri N, et al. A London experience 1995–2012: demographic, dietary and biochemical characteristics of a large adult cohort of patients with renal stone disease. *QJM* 2015; 108:561–568. 63.

13. Ferrero A., Montoya J.C., Vaughan L.E., Huang A.E., McKeag I.O., Enders F.T., Williams J.C. Jr, McCollough C.H. Quantitative Prediction of Stone Fragility From Routine Dual Energy CT: Ex vivo proof of Feasibility. *Acad Radiol*. 2016; 23 (12): 1545-1552.

14. Flohr T.G., McCollough C.H., Bruder H., et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*. 2006; 16: 256–268.

15. Graser A., Johnson T.R., Chandarana H., Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol*. 2009; 19 (1): 13–23.

16. Habashy D., Xia R., Ridley W., Chan L., Ridley L. Impact of dual energy characterization of urinary calculus on management. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2016; 60 (5): 624-631.

17. Hidas G., Eliahou R., Duvedevani M., Coulon P., Lemaitre L., Gofrit O.N., Pode D., Sosna J. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. *Radiology*. 2010; 257 (2): 394-401.

18. Hounsfield G.N. (1973) Computerized transverse axial scanning (tomography). Description of system. *Br J Radiol*. 46: 1016–1022.

19. Johnson T.R., Krauss B., Sedlmair M., et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007; 17 (6): 1510–1517.

20. Kruger R.A., Riederer S.J., Mistretta C.A. Relative properties of tomography, K-edge imaging, and K-edge tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (3): 244–249.

21. Kulkarni N.M., Eisner B.H., Pinho D.F., Joshi M.C., Kambadakone A.R., Sahani D.V. Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*. 2013; 37 (1): 37-45.

22. Largo R., Stolzmann P., Fankhauser C.D., Poyet C., Wolfgruber P., Sulser T., Alkadhi H., Winklhofer S. Predictive value of low tube voltage and dual-energy CT for successful shock wave lithotripsy: an in vitro study. *Urolithiasis*. 2016 Jun; 44 (3):271-6.

23. Macovski A., Alvarez R.E., Chan J.L., Stonestrom J.P., Zatz L.M. Energy dependent reconstruction in x-ray computerized tomography. *Comput Biol Med*. 1976; 6 (4): 325–336.

24. Matlaga B.R., Kawamoto S., Fishman E. Dual source computed tomography: a novel technique to determine stone composition. *Urology*. 2008; 72(5): 1164-8.

25. Mitcheson H.D., Zamenhof R.G., Bankoff M.S., et al. Deter-

mination of the chemical composition of urinary calculi by computerized tomography. *J Urol*. 1983; 130: 814–9.

26. Mostafavi M.R., Ernst R.D., Saltzman B. Accurate determination of chemical composition of urinary calculi by spiral computerized tomography. *J Urol*. 1998; 159: 673–5.

27. Motley G., Dalrymple N., Keesling C., et al. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology*. 2001; 58: 170–3.

28. Nakada S.Y., Hoff D.G., Attai S., et al. Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology*. 2000; 55: 816–9.

29. Newhouse J.H., Prien E.L., Amis E.S., et al. Computed tomographic analysis of urinary calculi. *AJR Am J Roentgenol*. 1984; 142: 545–8.

30. Ngo T.C., Assimos D.G. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. *Rev Urol*. 2007; 9: 17-27.

31. Patel T., et al. Skin to stone distance is an independent predictor of stone-free status following

32. Pittomvils G., Vandeursen H., Wevers M., et al. The influence of internal stone structure upon the fracture behaviour of urinary calculi. *Ultrasound Med Biol*. 1994; 20: 803-10.

33. Primak AN, Ramirez Giraldo JC, Liu X, Yu L, McCollough CH. Improved dual-energy material discrimination for dual-source CT by means of additional spectral filtration. *Med Phys* 2009;36(4):1359–1369.

34. Riederer S.J., Mistretta C.A. Selective iodine imaging using K-edge energies in computerized x-ray tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (6): 474–481.

35. Rutchik S.D., Resnick M.I. Ureteropelvic junction obstruction and renal calculi: pathophysiology and implications for management. *Urol Clin North Am*. 1998; 25: 317–21.

36. Saw K.C., Lingeman J.E. Management of calyceal stones. *AUA Update Series*. 1999; 20: 154–9.

37. Saw K.C., McAteer J.A., Monga G., et al. Helical CT of urinary calculi: effect of stone composition, stone size, and scan collimation. *AJR Am J Roentgenol*. 2000; 175: 329–32.

38. Sheir K.Z., Mansour O., Madbouly K., et al. Determination of the chemical composition of urinary calculi by noncontrast spiral computerized tomography. *Urol Res*. 2005; 33: 99–104.

39. 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; 34 (9): 1297-302.

40. Thomas C., Heuschmid M., Schilling D., Ketelsen D., Tsiflikas I., Stenzl A., Claussen C.D., Schlemmer H.P. Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography. *Radiology*. 2010 Nov; 257 (2): 402-9.

41. Zheng, X., et al. Dual-energy computed tomography for characterizing urinary calcified calculi and uric acid calculi: A meta-analysis. *Eur J Radiol*. 2016; 85: 1843.

42. Zhong P., Preminger G.M. Mechanisms of differing stone fragility in extracorporeal shockwave lithotripsy. *J Endourol*. 1994; 8 (4): 263–8.

**References:**

1. Alyaev Yu.G., Rudenko V.I., Gazimiev M.-S.A. Urolithiasis. Modern aspect of diagnostics and treatment. «Triada», Moscow,

2006. P. 10-16 (in Russian).  
2. Kapanadze L.B., Serova N.S., Rudenko V.I. application of

- dual-energy computer tomography in diagnostics of urolithiasis. *REJR*. 2017; 7 (3): 165-173 (in Russian).
3. Kapanadze L.B., Ternovoy S.K., Rudenko V.I., Serova N.S. Clinical implications of dual-energy computed tomography in the diagnosis and treatment of urolithiasis. *Urology*. 2018. 1: 143-149 (in Russian).
  4. Kuz'menko V.V., Kuz'menko A.V., Bezryadin N.N., Vakhtel V.M. Roentgencomputer tomography in the determination of the urinary stones composition. *Materials of Russian urology society, Sochi, 2003*. P. 185-186 (in Russian).
  5. Lopatkin N.A., Dzeranov N.K. 15-year experience of ESWL in urolithiasis treatment. *Materials of Russian urology society, Sochi, 2003*. P. 5-25 (in Russian).
  6. Acharya S., Goyal A., Bhalla A.S., Sharma R., Seth A., Gupta A.K. In vivo characterization of urinary calculi on dual-energy CT: going a step ahead with sub-differentiation of calcium stones. *Acta Radiol*. 2015; 56 (7): 881-9.
  7. Alvarez R.E., Macovski A. Energy-selective reconstructions in x-ray computerized tomography. *Phys Med Biol*. 1976; 21 (5): 733-744.
  8. Bellin M.F., Renard-Penna R., Conort P., et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. *Eur Radiol*. 2004; 14: 2134-40.
  9. Curry T.S. III, Dowdey J.E., Murry R.C. Christensen's physics of diagnostic radiology. 4th ed. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger. 1990; 61-69.
  10. Deveci S., Coskun M., Tekin M.I., et al. Spiral computed tomography: role in determination of chemical compositions of pure and mixed urinary stones - an in vitro study. *Urology*. 2004; 64: 237-40.
  11. Dretler S.P. Stone fragility-a new therapeutic distinction. *J Urol*. 1988; 139: 1124-7.0
  12. Ferraro PM, Robertson WG, Johri N, et al. A London experience 1995-2012: demographic, dietary and biochemical characteristics of a large adult cohort of patients with renal stone disease. *QJM* 2015; 108:561-568. 63.
  13. Ferrero A., Montoya J.C., Vaughan L.E., Huang A.E., McKeag I.O., Enders F.T., Williams J.C. Jr, McCollough C.H. Quantitative Prediction of Stone Fragility From Routine Dual Energy CT: Ex vivo proof of Feasibility. *Acad Radiol*. 2016; 23 (12): 1545-1552.
  14. Flohr T.G., McCollough C.H., Bruder H., et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*. 2006; 16: 256-268.
  15. Graser A., Johnson T.R., Chandarana H., Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol*. 2009; 19 (1): 13-23.
  16. Habashy D., Xia R., Ridley W., Chan L., Ridley L. Impact of dual energy characterization of urinary calculus on management. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2016; 60 (5): 624-631.
  17. Hidas G., Eliahou R., Duvedani M., Coulon P., Lemaitre L., Gofrit O.N., Pode D., Sosna J. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. *Radiology*. 2010; 257 (2): 394-401.
  18. Hounsfield G.N. (1973) Computerized transverse axial scanning (tomography). Description of system. *Br J Radiol*. 46: 1016-1022.
  19. Johnson T.R., Krauss B., Sedlmair M., et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007; 17 (6): 1510-1517.
  20. Kruger R.A., Riederer S.J., Mistretta C.A. Relative properties of tomography, K-edge imaging, and K-edge tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (3): 244-249.
  21. Kulkarni N.M., Eisner B.H., Pinho D.F., Joshi M.C., Kambadakone A.R., Sahani D.V. Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*. 2013; 37 (1): 37-45.
  22. Largo R., Stolzmann P., Fankhauser C.D., Poyet C., Wolfsgruber P., Sulser T., Alkadhi H., Winklhofer S. Predictive value of low tube voltage and dual-energy CT for successful shock wave lithotripsy: an in vitro study. *Urolithiasis*. 2016 Jun; 44 (3):271-6.
  23. Macovski A., Alvarez R.E., Chan J.L., Stonestrom J.P., Zatz L.M. Energy dependent reconstruction in x-ray computerized tomography. *Comput Biol Med*. 1976; 6 (4): 325-336.
  24. Matlaga B.R., Kawamoto S., Fishman E. Dual source computed tomography: a novel technique to determine stone composition. *Urology*. 2008; 72(5): 1164-8.
  25. Mitcheson H.D., Zamenhof R.G., Bankoff M.S., et al. Determination of the chemical composition of urinary calculi by computerized tomography. *J Urol*. 1983; 130: 814-9.
  26. Mostafavi M.R., Ernst R.D., Saltzman B. Accurate determination of chemical composition of urinary calculi by spiral computerized tomography. *J Urol*. 1998; 159: 673-5.
  27. Motley G., Dalrymple N., Keesling C., et al. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology*. 2001; 58: 170-3.
  28. Nakada S.Y., Hoff D.G., Attai S., et al. Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology*. 2000; 55: 816-9.
  29. Newhouse J.H., Prien E.L., Amis E.S., et al. Computed tomographic analysis of urinary calculi. *AJR Am J Roentgenol*. 1984; 142: 545-8.
  30. Ngo T.C., Assimos D.G. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. *Rev Urol*. 2007; 9: 17-27.
  31. Patel T., et al. Skin to stone distance is an independent predictor of stone-free status following
  32. Pittomvils G., Vandeursen H., Wevers M., et al. The influence of internal stone structure upon the fracture behaviour of urinary calculi. *Ultrasound Med Biol*. 1994; 20: 803-10.
  33. Primak AN, Ramirez Giraldo JC, Liu X, Yu L, McCollough CH. Improved dual-energy material discrimination for dual-source CT by means of additional spectral filtration. *Med Phys* 2009;36(4):1359-1369.
  34. Riederer S.J., Mistretta C.A. Selective iodine imaging using K-edge energies in computerized x-ray tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (6): 474-481.
  35. Rutchik S.D., Resnick M.I. Ureteropelvic junction obstruction and renal calculi: pathophysiology and implications for management. *Urol Clin North Am*. 1998; 25: 317-21.
  36. Saw K.C., Lingeman J.E. Management of calyceal stones. *AUA Update Series*. 1999; 20: 154-9.
  37. Saw K.C., McAteer J.A., Monga G., et al. Helical CT of urinary calculi: effect of stone composition, stone size, and scan collimation. *AJR Am J Roentgenol*. 2000; 175: 329-32.
  38. Sheir K.Z., Mansour O., Madbouly K., et al. Determination of the chemical composition of urinary calculi by noncontrast spiral computerized tomography. *Urol Res*. 2005; 33: 99-104.

39. 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; 34 (9): 1297-302.

40. Thomas C., Heuschmid M., Schilling D., Ketelsen D., Tsiflikas I., Stenzl A., Claussen C.D., Schlemmer H.P. Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to

that of intravenous pyelography. *Radiology.* 2010 Nov; 257 (2): 402-9.

41. Zheng, X., et al. Dual-energy computed tomography for characterizing urinary calcified calculi and uric acid calculi: A meta-analysis. *Eur J Radiol.* 2016; 85: 1843.

42. Zhong P., Preminger G.M. Mechanisms of differing stone fragility in extracorporeal shockwave lithotripsy. *J Endourol.* 1994; 8 (4): 263-8.